

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

Политехнический институт



Современные технологии: проблемы и перспективы

Сборник статей
Всероссийской научно-практической конференции
для аспирантов, студентов и молодых ученых
19 - 22 мая 2020 года



Севастополь, 2020

УДК 621+629+656+664+006+636
ББК 3
С56

Организаторы конференции:

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации ФГАОУ ВО
«Севастопольский государственный университет» Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им И. Н. Ульянова»

Редакционная коллегия:

С.М. Братан, *д-р. техн. наук, проф.* – *председатель*;
В.И. Головин, *канд. техн. наук, проф.* – *сопредседатель*;
Н.И. Покинтелица, *д-р техн. наук, проф.*; **А.А. Ветрогон**, *канд. техн. наук*;
В.И. Пахалюк, *канд. техн. наук*; **Е.А. Емченко**, *канд. техн. наук*;
Л.А. Ничкова, *канд. техн. наук*; **С.Е. Сазонов**, *канд. техн. наук*

С56 **Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей**
Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов,
студентов и молодых учёных (19 - 22 мая 2020 г.) / Главный ред. к. т. н.,
PhD, доц. О.В. Мухина. – Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2020. – 247 с. – Текст : электронный.

Публикуется по решению оргкомитета Всероссийской научно-практической
конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, проведенной
19 - 22 мая 2020 г. в ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
г. Севастополь (приказ №727-п от 18.05.2020). Материалы публикуются в авторской
редакции.

В сборнике представлены результаты научно-исследовательской работы
аспирантов, студентов и молодых учёных по проблемам современных технологий. Сборник
предназначен всем, специализирующимся в областях:

- 1) Высокие технологии машиностроения;
- 2) Современные направления развития транспорта и транспортных технологий;
- 3) Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность;
- 4) Метрология, стандартизация и управление в технических системах;
- 5) Геометрическое проектирование и компьютерное моделирование в инженерии;
- 6) Автоматизация и управление процессами;
- 7) Пищевые технологии, исследования и инновации.

ISBN 978-5-6044481-9-9



© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	6
<i>Стреляная Ю.О., Сатвалдыев О.А.</i> Применение адаптивных гидростатических опор в тяжелых станках.....	6
<i>Плотников В.В., Данилов П.Г., Петров С.В., Николаев Е.А.</i> Проектирование составного твердосплавного сверла со стандартным хвостовиком с помощью программного обеспечения NX	13
<i>Кадушкин С.Н., Голушов И.С., Смирнов В.М.</i> Разработка механолегированной связки алмазного инструмента на основе системы Cu-Al-C-O-Zn.....	18
<i>Лобанов Д. В., Никифоров А. С., Миронова Г. Г.</i> Определение показателей и создание методики для сравнительного анализа методов алмазного шлифования	22
<i>Лобанов Д. В., Купцов М.В., Закнаева А.У.</i> Моделирование сборного лезвийного инструмента для обработки композиционных материалов	27
<i>Макаганюк А. С., Денищенко П. Н.</i> Разработка математической модели серповидности раскатов в условиях толстолистовых станов	33
<i>Часовитина А.С., Харченко А. О.</i> Гибридная компоновка резьбонарезного станка для гибкого автоматизированного производства	40
<i>Фарниев А.С., Новиков П.А.</i> Обзор методов и средств получения внутренних резьб в деталях, изготовленных аддитивными технологиями.....	44
<i>Тимошенко А.А., Богуцкий В.Б.</i> Проверка выбранной конструкции и геометрии сверла для конкретных условий обработки по условию стружкоотвода	48
<i>Лебах В.И., Богуцкий В.Б.</i> Моделирование процесса шлифования резьбы ходовых винтов шариковых винтовых передач	52
<i>Кравцова С.И. , Митичкина Н.Г.</i> Оценка влияния угла створа матрицы при прессовании труб на величину пресс-остатка методом конечно-элементного моделирования.....	59
<i>Зворыгин А.С., Борисов М.А., Рафанова О.С.</i> Стенд для исследования процесса электрохимического шлифования.....	64
<i>Круглов В.М., Владецкая Е.А.</i> Повышение виброустойчивости расточных станков в условиях плавучих мастерских.....	69
<i>Бабинов И. И., Тараховский А. Ю.</i> Повышение эффективности процесса сборки уплотнительных устройств, содержащих фторопластовые кольца	76
<i>Теленик А. А., Харченко А.О.</i> Использование вероятностных методов оценки надежности на примере станка с ЧПУ 1720ПФ30.....	81
<i>Мерзлов А. В., Харченко А.О., Харченко А.А.</i> Исследование эффективности внутренней мелкоразмерной резьбообработки.....	86
<i>Корчевский С.В., Владецкая Е.А.</i> Анализ внешних воздействий на технологическую систему шлифовального станка в плавучих мастерских	91
<i>Лимонов С.Е., Борисов М.А.</i> Разработка программируемого устройства для моделирования процесса управления транспортным роботом в автоматической линии термообработки виртуальных деталей	97
<i>Маковецкий В.В., Левченко Е.А.</i> Повышение эффективности обработки сталей механохимическим методом на вибрационных станках.....	102

<i>Смолдырев Л.В., Левченко Е.А.</i> Расширение технологических возможностей вибрационного оборудования путем нанесения покрытий на обрабатываемые детали	107
<i>Гутько Ю. И., Низмеев А. А.</i> Анализ влияния геометрических элементов бойков на технологические показатели радиального обжата	111
<i>Тараховский А.А., Тараховский А.Ю.</i> Обоснование автоматизации сборки радиальных уплотнительных соединений с наружными канавками	117
<i>Неменко А. В., Никитин М. М.</i> Финишная обработка детали с поверхностью вращения второго порядка.....	123
РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	128
<i>Семеренко М. А., Огрызков С.В.</i> Автомобиль с гибридной силовой установкой на шасси легких коммерческих автомобилей семейства ГАЗель NEXT	128
<i>Домнина А. С., Горяшин Я. Е.</i> Цифровизация документального оборота при терминальной обработке контейнеров в портах России	134
РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ, ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	138
<i>Кузнецова М.С., Сигора Г.А.</i> Индекс человеческого развития как показатель устойчивого развития Республики Крым и города Севастополя	138
<i>Тюленева О. А., Сигора Г.А.</i> Мониторинг безопасного эколого - экономического развития регионов РФ.....	142
<i>Торшина К. И., Сигора Г. А.</i> Рейтинг социального прогресса как показатель устойчивого развития стран мира.....	147
<i>Хоменко Т.Ю., Ляшко Т.В., Сигора Г.А.</i> Гидрогеохимическая оценка качества подземных вод Севастопольского региона	151
<i>Захарова В.С., Ничкова Л.А.</i> Раздельный сбор мусора.....	156
<i>Черкасова Ю.М., Ничкова Л.А., Захарова В.С., Юрченко А.С.</i> Способы утилизации и переработки бытовых отходов.....	160
РАЗДЕЛ 4. МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	163
<i>Юдина Т.В., Белая М.Н.</i> Контрольные функции электролаборатории.....	163
<i>Гутовская И.В., Белая М.Н.</i> Совершенствование номенклатуры показателей качества жилищно-коммунальных услуг	167
<i>Касьяненко К.А., Белая М.Н.</i> Сравнительный анализ требований к маркировке винодельческой продукции.....	173
<i>Коршунова М., Белая М.Н.</i> Определение свойств показателей качества услуг пляжей	176
<i>Мрыхина Д.А., Белая М.Н.</i> Вихретоковый метод как вид неразрушающего контроля	181
<i>Шульга Е.А., Белая М.Н.</i> Анализ состояния геометрических измерений на предприятие ООО «Судоремонтный завод Персей»	185
<i>Малов А.В., Лана М.В.</i> Обзор нормативной базы в сфере сервисной робототехники	191

РАЗДЕЛ 5. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРИИ	198
<i>Дюдяев И.А., Майорова В.В., Браславский Ю.В.</i> Анализ причин повреждения парогенератора ПГВ-1000МЯЭУ с ВВЭР с помощью компьютерного моделирования.....	198
<i>Гараджа А.В., Емченко Е. А.</i> Мониторинг сапр систем для инженерного проектирования и моделирования	205
<i>Саса Д.А., Тараховский А.Ю.</i> Особенности изготовления рамных изделий для специализированного подвижного состава путем создания компьютерного моделирования состояний объекта изделий	210
<i>Тараховский А. Ю., Тищенко И.В.</i> Анализ различных методов построения шестерни в CAD-системах	214
<i>Адиева Э. Т., Юнусов М.Б., Бут А.Ю.</i> К вопросу о роли изображений в восприятии информации	219
РАЗДЕЛ 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ	229
<i>Овдей В. С., Ткачев Р. Ю.</i> Структурно-параметрическая идентификация объектов управления на основе дискретных вход-выходных данных.....	229
РАЗДЕЛ 7. ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ	236
<i>Бабаева В.А., Покинтелица Н.И.</i> Исследование показателей влагоудерживающей способности фарша при измельчении продукта	236
<i>Литовченко Д.В., Левченко Е.А.</i> Исследование влияния эксплуатационных характеристик процесса измельчения на показатели качества получаемых фаршей.....	241

РАЗДЕЛ 1. ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.9

ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР В ТЯЖЕЛЫХ СТАНКАХ

Ю.О. Стреляная¹ канд. техн. наук, О.А. Сатвалдыев² студент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: YOStrelyanaya@sevsu.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: aerius@qq.com

Аннотация

В данной статье проведен аналитический обзор методов повышения точности тяжелых станков, различных вариантов опор шпиндельных узлов. Именно опорные узлы вносят определяющий вклад в точность обработки.

Применение опор качения имеет определенный предел по точности, так как источниками смещения заданной траектории движения являются геометрические поверхности дорожек и тел качения, изменения распределения сил в подшипнике вследствие изменения положения тел качения относительно линии действия внешней нагрузки, а также наличие деформаций, как самих тел качения, так и сопрягаемых с ними поверхностей деталей. При увеличении натяга в опорах качения точность вращения повышается только до некоторого предела. Такая же картина наблюдается и для линейных опор качения. К тому же, в тяжелых станках с ЧПУ направляющие качения не получили распространения вследствие высокой стоимости крупногабаритных роликовых подшипников и очень высоких требований, предъявляемых к точности сопрягаемых с подшипниками поверхностей.

Опоры жидкостного трения находят все более широкое применение при конструировании тяжело-нагруженных опор, в частности, в шпиндельных опорах тяжелых токарных станков, вальцешлифовальных, колесотокарных и других.

В главной части статьи рассматривается комбинированная гидросхема шпиндельного узла на гидростатических опорах, в которой сочетается электрическое управление с гидравлическими исполнительными механизмами. Описан принцип работы такой системы и приводится ее структурная схема.

Ключевые слова: точность, тяжелый токарный станок, опора, подшипник, шпиндель, привод, регулятор, трение, жесткость

THE APPLICATION OF ADAPTIVE HYDROSTATIC BEARINGS IN HEAVY LATHES

Yu.O. Strelyanaya¹ cand. sc. tech, O.A. Satvaldyev² student

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, YOStrelyanaya@sevsu.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, aerius@qq.com

Abstract

This article provides an analytical review of methods for improving the machining accuracy of heavy lathes, various options for bearing of the spindle assemblies. It is the bearing assemblies that make the decisive contribution to the machining accuracy.

The application of rolling-contact bearing has a certain accuracy limit, since the sources of displacement for a given trajectory of movement are the geometric surfaces of the tracks and rolling elements, changes in the force distribution in the bearing due to changes in the position of the rolling elements relative to the line of external load action, and the presence of deformations, like the rolling elements themselves, and the interfacing surfaces. With an increase in interference in the rolling-contact bearings, the rotating accuracy increases only to a certain limit. The same picture is

observed for linear frictionless bearings. In addition, in heavy CNC lathes, slideway bearings are not widespread due to the high cost of large-sized roller bearings and very high requirements for the accuracy of the interfacing surfaces.

Liquid friction bearings are increasingly used in the design of heavily loaded bearings, in particular, in the spindle bearings of heavy lathes, wheel-turning lathes, roll grinders, etc.

The main part of the article presents a combined hydraulic circuit of a spindle unit with hydrostatic bearings, which combines electrical control with hydraulic executing mechanisms. The principle of operation of such a system is described and its structural diagram is given.

Keywords: accuracy, precision, heavy lathe, bearing, spindle, drive, control, friction, rigidity

В настоящее время крайне важно повышать точность обрабатываемых изделий на тяжелых станках. Так, узлы таких станков обладают большими габаритами, а чем больше размер узла, тем больше погрешность его сборки, его упругие и тепловые деформации, то есть тем сложнее добиться определенной точности в обработке.

Определяющий вклад в качество работы тяжелых станков вносят статические и динамические характеристики шпиндельных узлов. Именно от шпиндельного узла в значительной мере зависит результирующая точность обработки. По сути шпиндельный узел является самым ответственным узлом любого станка, поэтому к нему предъявляются высокие требования по точности положения и плавности вращения, жесткости и вибростойкости.

Точность оказывает решающее влияние не только на все показатели работоспособности узлов, а также на их выходные параметры: продуктивность, экономическую эффективность.

Точность зависит от множества составляющих погрешностей различной природы, вызывающих отклонения конечных звеньев станка, несущих режущий инструмент и обрабатываемую заготовку. На ранних этапах проектирования станка актуальным является моделирование процесса формирования точности станка, зависящей от его конструктивно-компоновочных параметров. Задача оценки точности при проектировании состоит в том, чтобы предоставить конструктору информацию для принятия решения, показать "слабые" звенья, вносящие наибольшую погрешность в баланс точности по каждой оси координат. В качестве критерия точности станка может быть принята погрешность взаимного положения инструмента и заготовки, обусловленная только угловыми смещениями узлов станка под действием силы резания и веса подвижных узлов.

Самый эффективный путь повышения точности обработки – модернизация узлов станочного оборудования с применением последних достижений науки и техники в области ремонта, восстановления, упрочнения деталей, за-

меной приводов на более современные, применением прогрессивных узлов трения.

Именно от опорных узлов в наибольшей степени зависит точность формообразующих движений, а значит и точность обработки.

В области совершенствования опорных узлов в настоящее время проводится большое количество исследований.

Опорные узлы определяют условия сопряжения деталей формообразующей системы для обеспечения относительных перемещений их сопрягаемых поверхностей и взаимной передачи нагрузок. Поэтому именно от опорных узлов в наибольшей степени зависит точность формообразующих движений, а значит и точность обработки, так как, в конечном счете, опоры либо компенсируют остальные составляющие погрешностей, либо привносят дополнительные. По этому признаку опорные узлы разных типов имеют кардинальные различия.

Опоры качения обладают дополнительными конструктивными элементами между сопрягаемыми деталями станка (тела качения, наружные и внутренние кольца и др.), что определяет дополнительные погрешности Δ_{on} , обусловленные отклонениями этих дополнительных элементов. Опоры смешанного трения копируют форму базовых поверхностей, имеют начальную погрешность $\Delta_{on} \approx 0$, которая увеличивается в процессе эксплуатации станка. В опорах жидкостного трения имеется слой жидкости между сопрягаемыми поверхностями деталей рабочих органов, в пределах которого уменьшаются другие элементы погрешностей.

По вышеуказанным причинам и вследствие высокой стоимости прецизионных подшипников качения и очень высоких требований, предъявляемых к точности сопрягаемых с подшипниками поверхностей, направляющие качения не получили широкого распространения в тяжелых станках с ЧПУ [1].

Широкие перспективы при разработке и модернизации существующих тяжелых станков с целью расширения диапазона их технических параметров получают гидростатические подшипники привода главного движения.

Гидростатические подшипники имеют преимущества, которыми не обладают подшипники других типов: 1) высокая несущая способность при любых скоростях скольжения (в том числе и при нулевой скорости), 2) обеспечивается возможность "всплытия" шпинделя в опорах до пуска станка, благодаря чему отсутствует механический контакт или граничная смазка при запуске, потери на трение малы. Зачастую долговечность подшипника зависит только от долговечности системы смазки, так как нет контакта между металлическими частями подшипника при любых рабочей скорости и нагрузке. Это особенно актуально для станков, работающих в режимах частых пусков–остановок.

Такие опоры обеспечивают высокую точность вращения, имеют высокую долговечность, обладают большой нагрузочной способностью во всем диапазоне частот вращения, стойкостью в химически активной среде, сохранением работоспособности при недостаточной смазке, бесшумностью и позволяют заменить смешанное трение и трение качения на более стабильное жидкостное трение. Опоры скольжения в условиях жидкостной смазки практически не подвержены износу. Благодаря наличию между сопрягаемыми поверхностями опоры слоя смазочного материала, параметрами которого возможно управлять, опора жидкостного трения может изменять свои характеристики (нагрузочную способность, жесткость) и осуществлять микроперемещения для компенсации геометрических погрешностей и отклонений, возникающих вследствие неточностей изготовления, температурных и силовых деформаций, а также демпфировать возникающие колебания.

Высокая демпфирующая способность гидростатических подшипников повышает виброустойчивость станка, позволяя получать отличное качество поверхности обрабатываемой детали и высокую скорость резания. Гидростатические подшипники применяют в качестве приводов микроперемещений, для фиксации шпинделей, в качестве датчиков в системах управления и для других целей. Применение таких опор позволяет достичь большей точности при обработке деталей, но при этом снижается стабильность жесткости и ее величина.

При выборе типа подшипника существенным фактором является стоимость, в которую входят стоимость изготовления и стоимость технического обслуживания подшипника и сопряженных с ним деталей. Разработка нормализованных подшипников скольжения, централизованное производство их и систем смазки значи-

тельно сократит стоимость и расширит сферу применения подшипников скольжения. [2]

Гидростатические опоры требуют тщательной проработки конструкции и высококвалифицированного обслуживания. Необходимо всегда помнить, что даже незначительная ошибка при конструировании или несоблюдение правил эксплуатации может превратить преимущества опор в недостатки, так как ошибки значительно сильнее сказываются на работе, чем при опорах скольжения или качения.

Вращение шпинделя в гидростатических опорах – весьма сложный процесс, сопровождающийся появлением статической подъемной силы, силы демпфирования, гидродинамического эффекта, дополнительных влияний неустойчивости потока смазки, колебаний давления, вихревого (планетарного) движения шпинделя, а также нагревом смазочной жидкости и ее сжимаемостью.

Для питания опор требуется источник давления – гидростанция сравнительно высокой мощности. Опоры являются источником тепловыделений, причем тепловыделения растут с увеличением скорости скольжения. При использовании опор необходимо предотвращать, например, фильтрацией попадание в смазку на входе в опору частиц, размер которых больше зазора в опоре. Также необходимо обеспечивать сбор и возврат в источник питания сравнительно больших потоков смазки. При этом несущие детали нагружены давлением смазки и деформируются, а в режиме жидкостного трения опоры практически исключают демпфирование в направлении скольжения.

Несмотря на кажущиеся простоту и доступность конструкции, в опорах жидкостного трения имеют место сложные процессы, что наряду со специфическими свойствами опор требует высокой культуры проектирования, изготовления и эксплуатации.

При работе гидростатических шпиндельных узлов тяжелых токарных станков имеют место особенности, связанные с относительно малой частотой вращения, большими статическими и динамическими нагрузками, довольно большими зазорами в подшипниках и требованиями обеспечения высокой точности, которые необходимо учитывать при их проектировании. Большое влияние на работу гидростатических шпиндельных подшипников оказывает способ регулирования зазора между шпинделем и втулкой.

Возникают и требуют решения ранее не рассматривавшиеся задачи обеспечения ста-

бильности условий обработки при воздействии переменных нагрузок.

Радиальные подшипники (рис. 1, а – в) выполняют с равномерно расположенными по окружности карманами, в каждый из которых от источника питания через дросселирующее устройство подается смазочная жидкость под давлением, за счет чего образуется подъемная сила и вал всплывает. Под действием внешней нагрузки F вал занимает эксцентричное (e – эксцентриситет) положение относительно втулки (рис. а, б). [3] Образуется разность рабочих зазоров, через которые вытекает смазочный материал из противоположных карманов, а, следовательно, изменяются и гидравлические сопротивления на выходе карманов. Это приводит при наличии гидравлических сопротивлений дросселей на входе в карманы к изменению давлений в каждом кармане: результирующая давлений воспринимает внешнюю нагрузку и возвращает вал в исходное центральное положение.

Упорные подшипники (рис. 2, а, б) выполняют либо с центральным подводом смазочной жидкости, либо через отдельный кольцевой карман.

Большое влияние на работу гидростатических шпиндельных подшипников оказывает способ регулирования зазора между шпинделем и втулкой. Зазор, разделяющий сопрягаемые поверхности опор жидкостного трения станков,

является основным параметром, характеризующим не только режим трения, но и точностью перемещений в опорах, от чего зависит точность обработки на станке, надежность опорного узла. Измерение зазора в исследуемой области представляет собой весьма сложную и самостоятельную задачу при экспериментальных исследованиях опорных узлов.

В гидростатических опорах необходимо применение различных регуляторов с обратной связью, причем применение известных конструкций регуляторов с обратной связью (по давлению или расходу смазочного материала) в данном случае недостаточно, поскольку большое время отклика, связанное с невозможностью мгновенно повысить давление в карманах, является их существенным недостатком. В системах питания с такими регуляторами выравнивание положения шпинделя в опорах происходит на основе косвенных измерений.

Необходимо разработать систему питания с регуляторами имеющими обратные связи по результатам измерений действительного положения шпинделя или обрабатываемой детали.

Для адаптивного регулирования параметров гидростатических опор оптимальным вариантом является применение регуляторов, изменяющих расход или давление смазочного материала с выходом по электрическому сигналу.

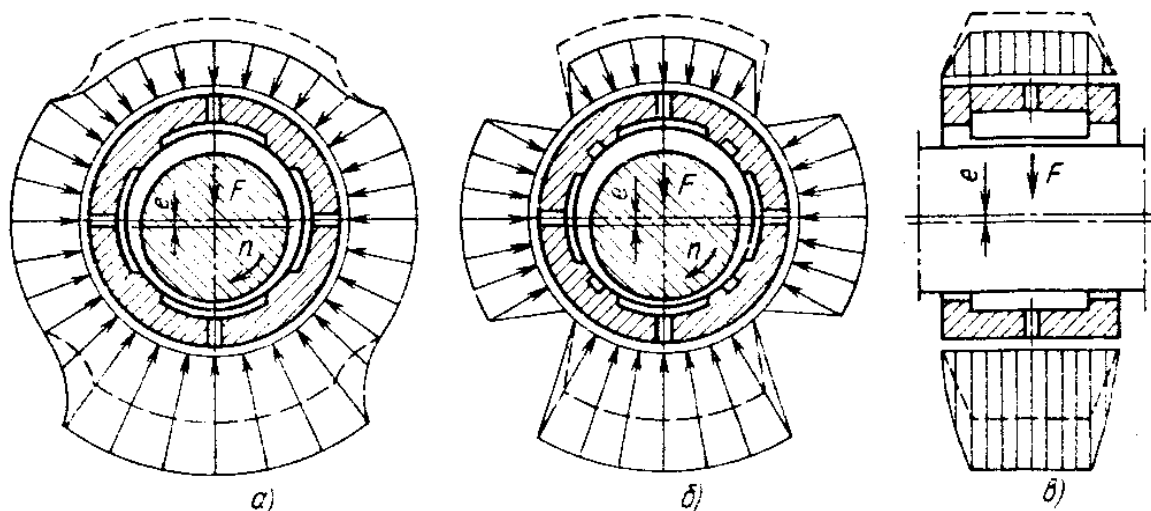


Рис. 1. Распределение давлений в радиальных гидростатических подшипниках: а – без дренажных канавок; б – с дренажными канавками; в – в продольном сечении.

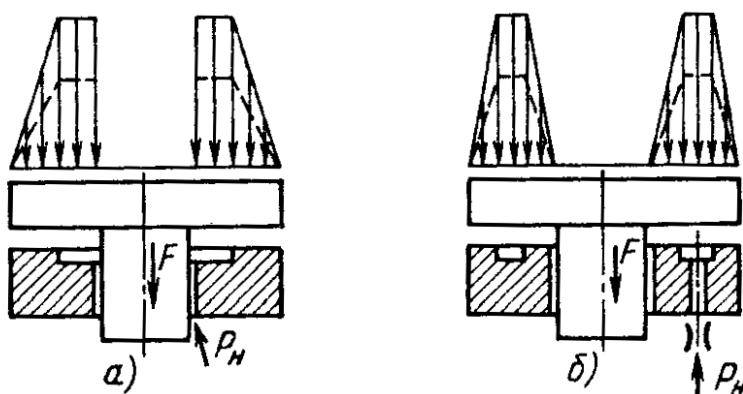


Рис. 2. Распределение давлений в упорных гидростатических подшипниках:

а – с центральным подводом смазочной жидкости; *б* – с подводом смазочной жидкости в кольцевой карман.

Адаптивная система питания гидростатических опор

Здесь рассматривается разработанная комбинированная система управления точностью шпиндельного узла при помощи адаптивных гидростатических опор с обратной связью по действительному положению шпинделя измеряемого на планшайбе в вертикальной и горизонтальной плоскости при помощи датчиков.

В комбинированных электрогидравлических приводах сочетается электрическое управление с гидравлическими исполнительными механизмами. В результате такого сочетания облегчается дистанционность управления, что особенно удобно в крупных станках, а также введение дополнительных корректирующих устройств, улучшающих работу следящего привода, наличие которых необходимо для получения требуемых характеристик привода, и т. п.

Схема простейшего электрогидравлического следящего привода приведена на рис. 3. Привод показан при использовании его на токарном станке. При изменении положения шпиндельного узла отклонение планшайбы фиксируется датчиками 1 и 2. Датчики могут быть индикаторного, емкостного типа или лазерные дальномеры. Сигналы от датчиков управляют регуляторами расхода смазочного материала в системе питания гидростатических опор таким образом, чтобы перераспределять расходы и давления через соответствующие карманы и тем самым, изменив координаты опорных реакций, скомпенсировать изменение нагрузки и уменьшить деформацию шпиндельного узла. Датчики

фиксируют положение шпинделя и передают через усилитель сигнал на электромеханический преобразователь, который кинематически связан с четырехщелевым золотником. Золотник дросселирует жидкость, подаваемую насосом, в полости оппозитных карманов.

Пружины электромеханического преобразователя (ЭМП) стремятся установить сердечник в среднее положение, при котором зазоры H_1 и H_2 между сердечником и торцами корпуса равны. При дифференциальной схеме включения катушек преобразователя и сигнале управления $U_y=0$ напряжения и токи на обеих катушках равны и составляют половину напряжения питания усилителя U . Вследствие этого магнитные потоки M_1 , M_2 и встречные силы, действующие по зазорам H_1 и H_2 между сердечником и корпусом, будут также равны (при симметричной конструкции), а сердечник и золотник будут занимать среднее положение.

При появлении сигнала управления U_y , т.е. при фиксировании датчиками смещения шпинделя, например, ниже среднего положения, напряжение в нижней катушке будет возрастать пропорционально U_y , а в верхней катушке соответственно уменьшаться, в результате чего пропорционально изменятся магнитные потоки M_1 , M_2 и возникнет разностная электромагнитная сила, стремящаяся сместить вниз сердечник преобразователя. Вследствие действия пружин это смещение будет пропорциональным величине такой разностной электромагнитной силы. Давление в полости **Б** и **Г** увеличивается, а в полости **А** и **В** уменьшается, положение шпинделя восстанавливается (рис. 4).

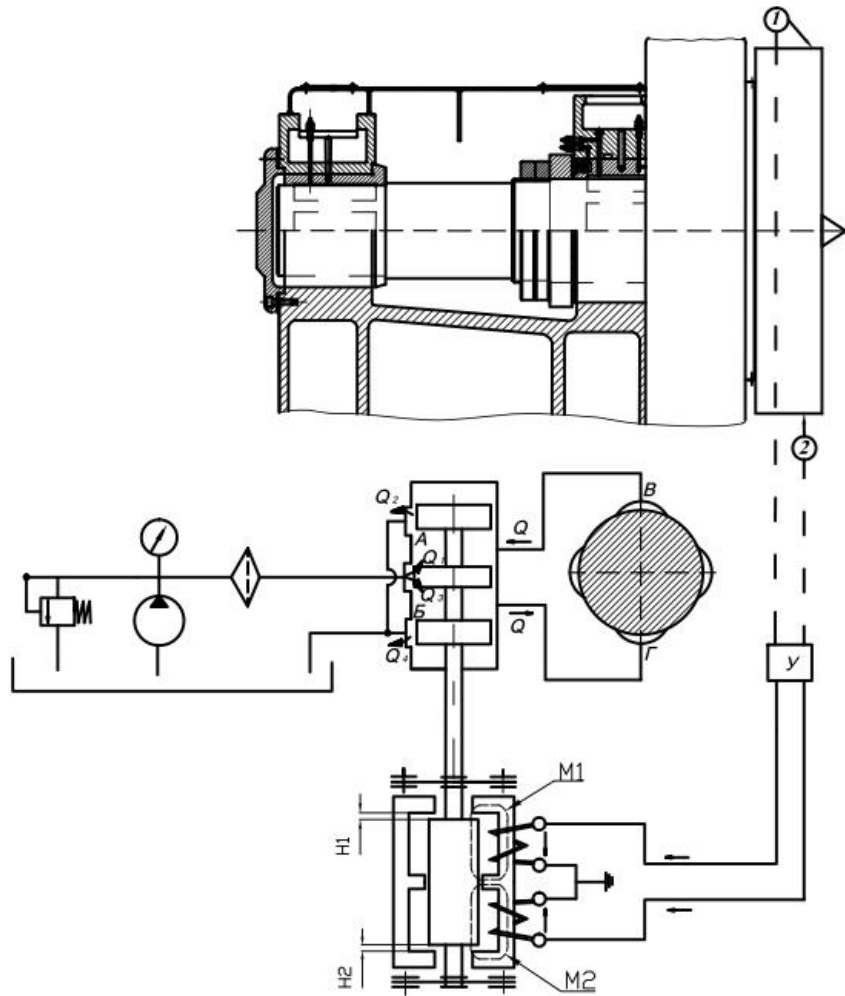


Рис. 3. Гидросхема шпиндельного узла

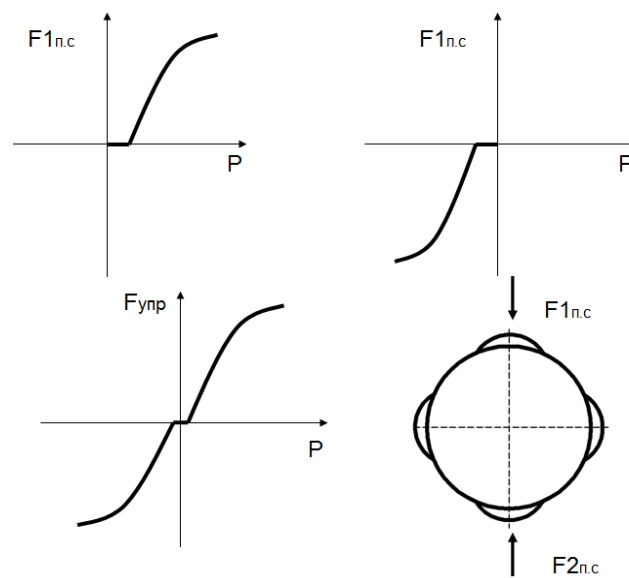


Рис. 4. Управление восстанавливающей силой при заданном положении шпинделя

При смещении шпинделя выше среднего положения описанный выше процесс повторяет-

ся, причем сигнал управления U_y меняет знак и соответственно электромагнитная сила действу-

ет на сердечник преобразователя в противоположном направлении. Аналогичная схема регулятора для горизонтальных карманов. Сердечник с золотником перемещается в соответствующую сторону, уменьшая или увеличивая расход смазки через регулятор.

Структурная схема электрогидравлического следящего привода с обратной связью показана на рис. 5.

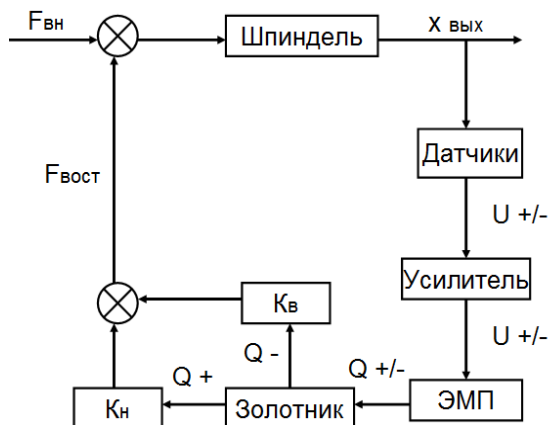


Рис. 5. Структурная схема гидропривода с обратной связью

Выводы

1. Повышение требуемой точности обрабатываемых изделий на тяжелых станках, ввиду больших габаритов узлов станка, участвующих в формообразовании, погрешностей сборки, упругих, тепловых деформаций, является актуальной проблемой и в настоящее время.

2. Наилучшими показателями по точности и жесткости для токарных станков обладают шпиндельные узлы жидкостного трения.

3. Разработаны шпиндельный узел тяжелого токарного станка и адаптивная система питания шпиндельных гидростатических опор, применение которых позволило повысить точность и производительность обработки.

4. Применение адаптивных систем питания обеспечивает следующие преимущества:

а) повышается надежность опор, так как дросселирующие элементы при работе находятся в движении, что препятствует зарастанию дросселирующей щели;

б) снижается нагрев опоры вследствие увеличения потока смазочного материала через опору по мере нагрева;

в) повышается жесткость и несущая способность слоя смазочного материала;

г) исключаются наладочные работы по установлению рабочего давления в карманах опор.

Список литературы

1. Ковалев В.Д. Опоры и передачи жидкостного трения станочного оборудования: составление и анализ / Ковалев В.Д., Бабин О.Ф. Учебное пособие. – Краматорск: ДГМА, 2005. – 188с.
2. Бушуев В.В. Гидростатические опоры тяжелых станков / Бушуев В.В. – М.: Машиностроение, 1989.- 176 с.
3. Проников А.С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник – учебник. В 3-х т. Т.2 Ч.1. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников – М.: Машиностроение, 1995. – 371 с.
4. Определение несущей способности гидростатических опор / Е.М. Якир [и др.] // Станки и инструмент. – 1969.- №11.- с.5-8.
5. Система адаптивного управления. Optimise machining time. Metalwork. Prod. 2006. 150, N 8, с. 79, 1 ил., Англ.

References

1. Kovalyov V.D. Bearings and liquid friction transmissions in machining tools: composition and analysis / Kovalyov V.D., Babin O.F. Study guide. – Kramatorsk: DSMA, 2005. – 188p.
2. Bushuev V.V. Hydrostatic bearings in heavy lathes / Bushuev V.V. – M.: Machine-building, 1989.- 176 p.
3. Pronikov A.S. Machine-tool and machining system: Guide – coursebook. In 3 v. V.2 P.1. Analysis and design of assemblies and elements of lathes / A.S. Pronikov – M.: Machine-building, 1995. – 371 p.
4. Hydrostatic bearings load-carrying ability calculation / E.M. Yakir [etc.] // Machine-tools. – 1969.- №11.- p.5-8.
5. Adaptive control system. Optimise machining time. Metalwork. Prod. 2006. 150, N 8, p. 79, 1 pic.,eng.

УДК 539.3/.6; 621.95

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВНОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО СВЕРЛА СО СТАНДАРТНЫМ ХВОСТОВИКОМ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ NX

В.В. Плотников¹, П.Г. Данилов², С.В. Петров³, Е.А. Николаев⁴

¹ ст. преподаватель ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары, пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail:
acc_plotnikov@rambler.ru

² студент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары,
пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail: danilov211@mail.ru

³ студент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары,
пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015,

⁴ студент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары,
пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015,

Аннотация

В настоящее время используются две конструкции цельного твердосплавного сверла. Первая применяется для малых диаметров, до 4 мм. Она представляет собой сверло, режущая часть которого достигает от 2 до 3 диаметров, а хвостовик делается увеличенным. Вторая применяется для сверл с диаметрами больше 4 мм. Хвостовик в данном случае не увеличивается. При обработке отверстий малого диаметра, превышающей длину обработки в 30 и выше раз твёрдосплавная часть сверла должна составлять всю длину сверления при этом хвостовик должен соответствовать заданному диаметру, особенно при сверлении дисперсно упрочнённых композиционных материалов которая отличается повышенной твёрдостью и прочностью. Зона концентрации напряжений в местах соединения режущей части и хвостовика недостаточно изучены. Данный метод расчета позволяет на первоначальном этапе, используя стандартные припои, выбрать геометрию стыка. В работе поясняется потребность и необходимость применения данной методики с использованием программного обеспечения NX. Необходимо было имея режимы обработки отверстий смоделировать процесс сверления составного режущего инструмента применяя те или иные формы места стыка составных частей режущего инструмента в виде сверла.

Ключевые слова: твердосплавное сверло, глубокое сверление, сетка конечных элементов, хвостовик, режущая часть, припой, граничные условия

DESIGNING A COMPOSITE CARBIDE DRILL WITH A STANDARD SHANK USING NX SOFTWARE

V.V. Plotnikov¹, P.G. Danilov², S.V. Petrov³, E.A. Nikolaev⁴

¹ Senior Lecturer "Chuvash State University", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation,
428015, e-mail: acc_plotnikov@rambler.ru

² student "Chuvash State University ", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015,

³ student "Chuvash State University ", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015,

⁴ student "Chuvash State University ", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015,

Annotation

Currently, two solid carbide drill designs are used. The first is used for small diameters, up to 4 mm. It is a drill, the cutting part of which reaches from 2 to 3 diameters, and the shank is made larger. The second is used for drills with diameters greater than 4 mm. The shank in this case does not increase. When machining holes of small diameter exceeding the machining length by 30 and more times, the carbide part of the drill must be the entire length of the drill, while the tail should correspond to the specified diameter, especially when drilling dispersively hardened composite materials that correspond to increased hardness and strength. The stress concentration zone at the junction of the cutting part and the shank is not well understood. This calculation method allows you to select the joint geometry at the initial stage, using standard solders. The work explains the need and necessity of applying this technique using NX software. It was necessary, having the modes of hole processing, to simulate the drilling process of a composite cutting tool using various forms of the junction of the components of the cutting tool in the form of a drill.

Key words: carbide drill, deep drilling, finite element mesh, shank, cutting part, solder, boundary conditions.

С появлением новых материалов возникает необходимость усовершенствования существующих или создания новых режущих инструментов для их обработки. [5-10] В Чувашском Государственном университете созданы новые уникальные материалы на основе порошковой меди [13-14], которое требует в ходе формирования из данного материала изделий, дополнительных исследований при механической обработки.

В работе рассматривается спиральное сверло, которое является основным типом сверл, наиболее широко распространенным в промышленности. Спиральные сверла состоят из следующих частей: режущей, направляющей или калибрующей, хвостовика и соединительной. Направляющая часть спирального сверла необходима для создания направления при работе инструмента. Поэтому она имеет две направляющие винтовые ленточки, которые при сверлении, как способа металлообработки, соприкасаются с рабочей поверхностью направляющей втулки и со стенками обработанного отверстия. Направляющая часть имеет вспомогательные режущие кромки — кромки ленточки, участвующие в оформлении (калибровании) поверхности обработанного отверстия.

Хвостовик, задняя часть инструмента служит для закрепления сверла на станке. Наиболее распространена рабочая часть сверла, которая изготавливается из быстрорежущей стали, а хвостовик из стали 45. При обработке вновь созданных материалов на основе порошковой меди исследовалось сверло с рабочей частью из твердого сплава марки T15K6 и хвостовик из стали 45 которые соединялись сваркой. [1,3] У твердосплавных сверл малого диаметра полностью вся рабочая часть может изготавливаться из твердого сплава. Многие детали имеют отверстия, длина которых превышает диаметр сверла в 10 раз. Сверление таких отверстий связано с большими

трудностями, вызываемыми затруднительными условиями отвода стружки и подвода смазывающе-охлаждающей жидкости в зону резания, необходимостью обеспечения более точного направления сверла при работе и т. п. [6] Выполнение этих требований к глубокому сверлению обеспечивается применением специальных сверл. в настоящее время используются две конструкции цельного твердосплавного сверла. Первая применяется для малых диаметров, до 4 мм. Она представляет собой сверло, режущая часть которого достигает от 2 до 3 диаметров, а хвостовик делается увеличенным. Вторая применяется для сверл с диаметрами больше 4 мм. Хвостовик в данном случае не увеличивается. Но что делать тогда, когда нужна обработка отверстия малого диаметра, но длины, превышающей диаметр в 30 раз?

В принципе увеличение хвостовой части сверл является обоснованным, поскольку твердый сплав имеет высокую твердость, но низкую прочность, и не может выдержать высокие динамические нагрузки.

А если рассмотреть конструкцию сверла, у которого режущая часть изготовлена из твердого сплава, а хвостовик — из закаленной легированной стали? Притом соединить их с помощью пайки латунным припоем Л60, который будет служить амортизатором, гасящим колебания, которые возникают при сверлении на режущей кромке и передаются на хвостовик.

Соединение двух деталей в изделие происходит за счет припоя Л60, как уже было сказано ранее. Но сможет ли он выдержать те нагрузки, что возникают при резании? На этот вопрос была предпринята попытка найти ответ в данной работе. В настоящее время широкое применение нашло 3D моделирование и расчет с помощью программ. [2,4,11-12] Деталь и сборка проектировалась с использованием возможностей программного обеспечения NX (рис.1).

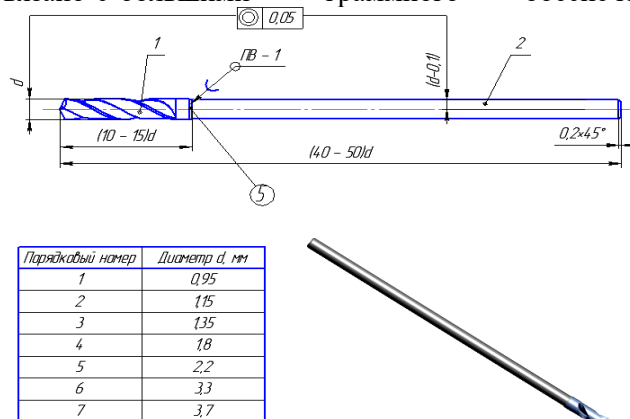


Рис. 1. Эскиз и 3D модель сверла

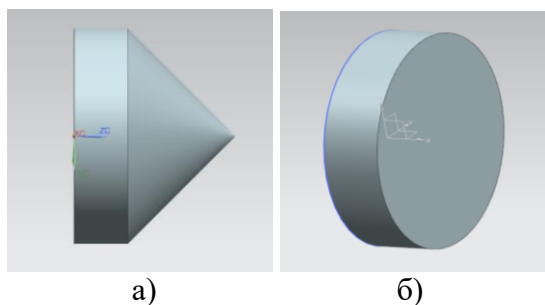


Рис. 2. Формы припоя для соединения рабочей части сверла с хвостовиком:

а) коническая; б) цилиндрическая

Разрабатываем две разные формы соединения рабочей части сверла с хвостовиком (рис.2). Далее в программе задавался материал элементов сборки (режущей части, хвостовика и пайки). Была наложена сетка конечных элементов и приложены нагрузки (граничные условия). Далее представлены рисунки 3-6, на которых показаны результаты моделирования сварных вариантов.

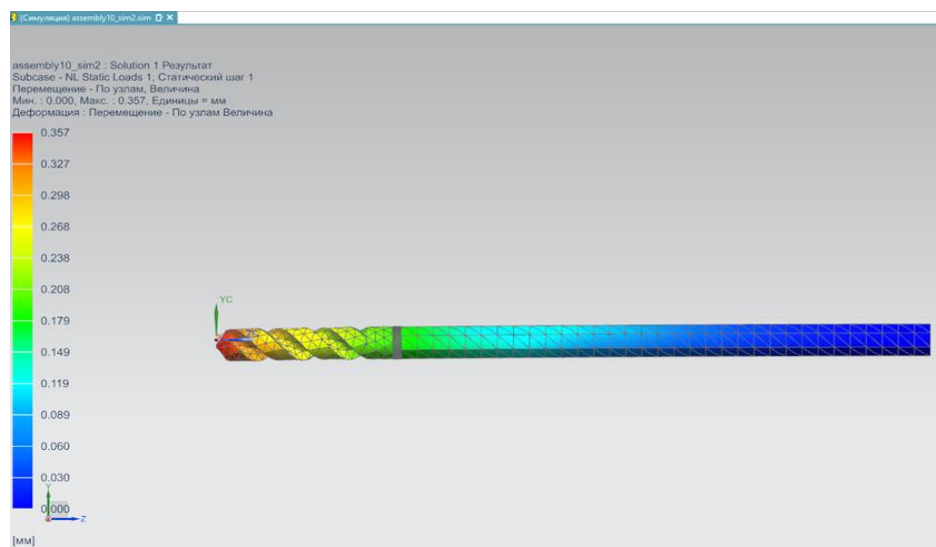


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние сверла при цилиндрической форме припоя

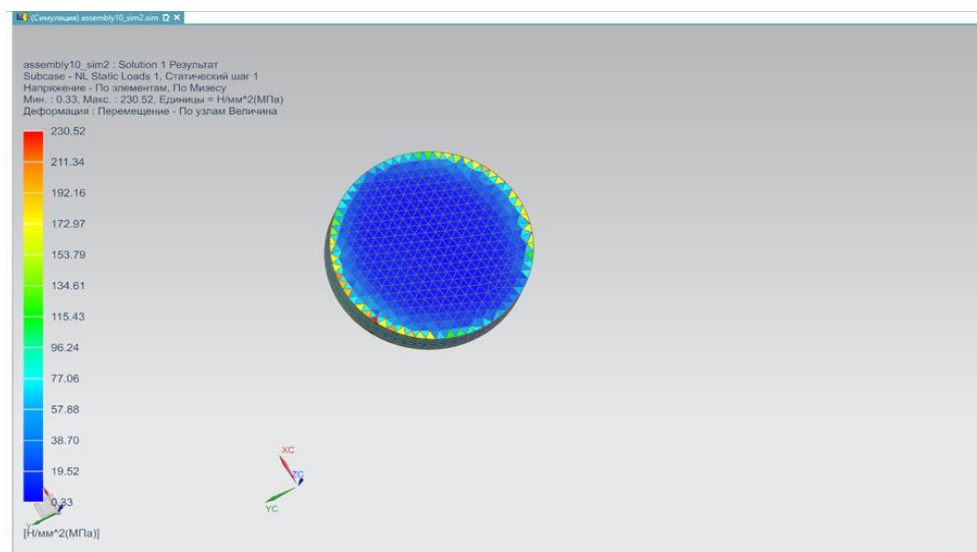


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние припоя при цилиндрической форме

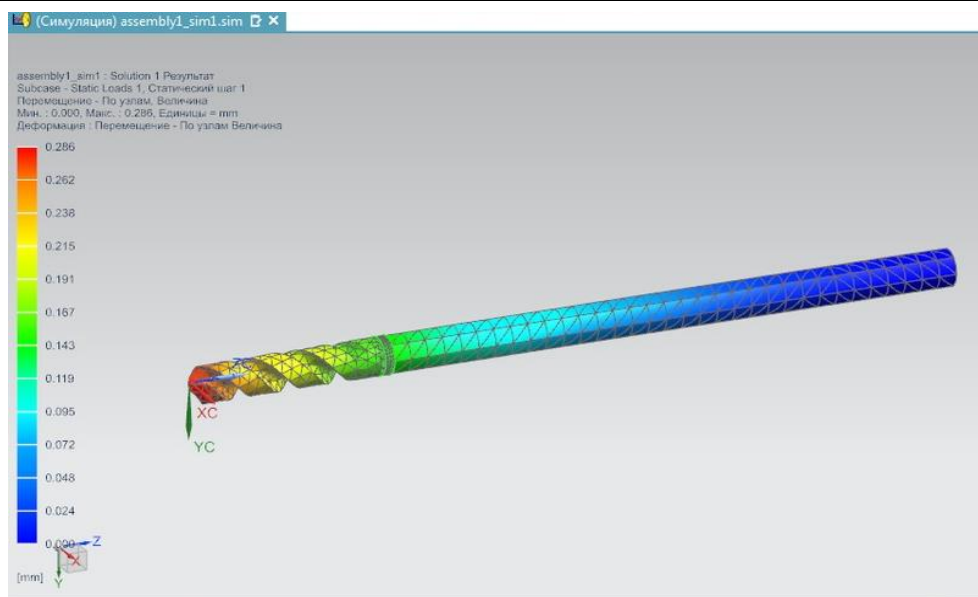


Рис. 5. Напряженно-деформированное состояние сверла при конической форме припоя

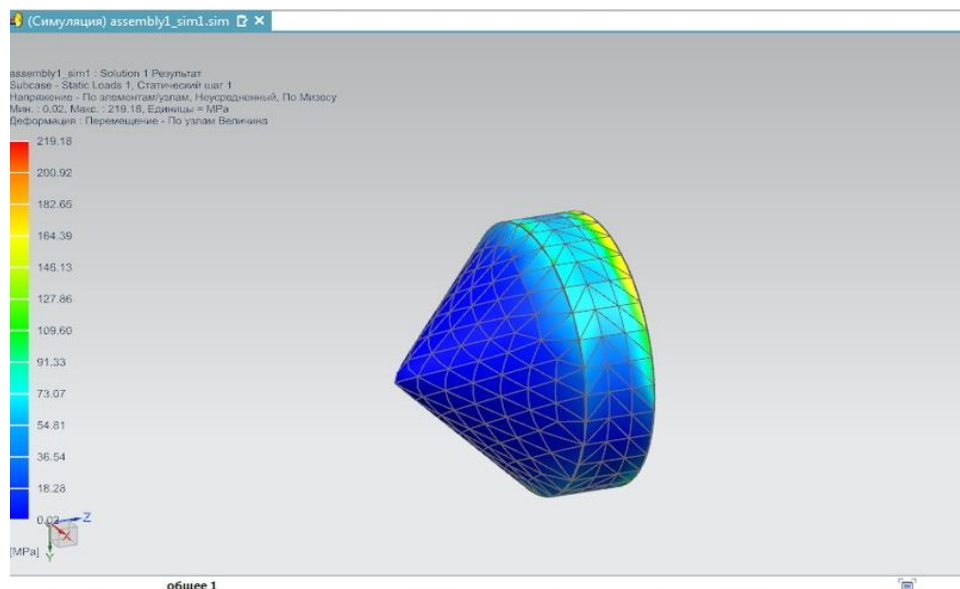


Рис. 6. Напряженно-деформированное состояние припоя при конической форме

Вывод: Проведенное моделирование в программном обеспечении NX позволяет показать работоспособность двух вариантов сварного соединения режущей части и хвостовика твердосплавного сверла. По приведенным данным геометрия стыка конуса является предпочтитель-

ным по прочностным характеристикам. В дальнейшем представленная методика может быть использована для определения степени влияния работоспособности режущего инструмента при различных режимах обработки в глубоком сверлении.

Список литературы

1. Анурьев В.И., Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т. 1 / В.И. Анурьев - М.: Машиностроение, 2015 – 928 с.
2. Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф., Денисихин С. В., Сотник Д. Е. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504 с
3. Марочник сталей и сплавов. 4-е изд., переработ. и доп. / Ю.Г. Драгунов, А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др. Под общей ред. Ю.Г. Драгунова и А.С. Зубченко – М.: 2014. 1216 с

4. Погораздов В.В. Геометро-аналитическая поддержка технологий формообразования винтовых поверхностей: учеб. пособие / В.В. Погораздов, О.В. Захаров. Саратов: СГТУ, 2004. 72 с.
5. Верещагин А.С., Возняковский А.П., Григорьева Т.Ф., Кирилов О.Н., Козлов А.М., Козлов А.А., Лиопо В.А., Мандрыкин А.В., Мокрицкий Б.Я., Морозова А.В., Овчинников Е.В., Панайоти В.А., Петрешин Д.И., Попов С.А., Прушак Д.А., Рязанцев А.Ю., Скрыгин О.В., Смоленцев В.П., Струк В.А., Съянов С.Ю. и др. Прогрессивные машиностроительные технологии, оборудование и инструменты. Коллективная монография / Москва, 2015. Том V
6. Ширинкин В.В., Макаров В.Ф., Мешкас А.Е. Обзор международных исследований и изучение процесса стружкообразования при сверлении композиционных материалов. // В сборнике: Научно-технические технологии на современном этапе развития машиностроения Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2016. С. 260-262.
7. Лобанов Д.В., Мулюхин Н.В., Купцов М.В. Предварительная оценка качества затачивания высокопрочных инструментальных материалов. // Актуальные проблемы в машиностроении Том 6 № 1-4 2019 г. Научно-технический и производственный журнал, 85-90
8. Янюшкин А.С., Рычков Д.А., Лобанов Д.В., Лосев Е.Д. Режущий инструмент для обработки композиционных материалов: его систематизация и выбор рациональной конструкции. // Механика XXI века. 2012. №11 С.234-238
9. Методика расчета величины разрушения режущей кромки твердосплавного инструмента / А. С. Янюшкин, А. М. Кузнецов, С. А. Якимов, Н. П. Петров // Системы. Методы. Технологии. – 2010. – № 8. – С. 139–144.
10. Янюшкин А. С. Пути решения проблем формообразования режущего инструмента для обработки неметаллических композитов / А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов, Н. В. Мулюхин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20, № 3. – С.36–46.
11. Богуцкий Б.В., Братан С.М., Богуцкий В.Б. сравнительный анализ возможности двух САД сред INVENTOR и КОМПАС 3D. // Механика XXI века. 2016. № 15. С. 151-155.
12. Миллин Н.Б., Петров В.А., Григорьев В.С., Плотноков В.В. автоматизированное проектирование технологических процессов в САПР "ВЕРТИКАЛЬ" // Научному прогрессу – творчество молодых. 2016. № 2. С. 76.
13. Владимирова Ю.О., Шалунов Е.П., Смирнов В.М. Триботехнические испытания наноструктурного материала на основе порошковой меди и оценка возможности его использования в направляющих втулках клапанов высокофорсированных двигателей. // Актуальные проблемы в машиностроении. 2019. Т. 6. № 1-4. С. 185-192.
14. Владимирова Ю.О., Данилов П.Г., Шалунов Е.П. Технология и режимы механической обработки направляющих втулок клапанов двигателей внутреннего сгорания из наноструктурного материала на основе порошковой меди. // Актуальные проблемы в машиностроении. 2019. Т. 6. № 1-4. С. 104-109.

References

1. Anuryev V.I., Handbook of a designer-mechanical engineer: in 3 volumes T. 1 / V.I. Anuryev - M.: Mechanical Engineering, 2015 - 928 p.
2. Goncharov P. S., Artamonov I. A., Halitov T. F., Denisikhin S. V., Sotnik D. E. NX Advanced Simulation. Engineering analysis. - M.: DMK Press, 2012. -- 504 s.
3. Marochnik steels and alloys. 4th ed., Revised. and add. / Yu.G. Dragunov, A.S. Zubchenko, Yu.V. Kashirsky et al. Under the general ed. SOUTH. Dragunova and A.S. Zubchenko - M.: 2014. 1216 s
4. Pogorazdov V.V. Geometric-analytical support for the technology of forming helical surfaces: textbook. allowance / V.V. Pogorazdov, O.V. Zakharov. Saratov: SSTU, 2004. 72 p.
5. Vereshchagin A.S., Voznyakovsky A.P., Grigoryeva T.F., Kirilov O.N., Kozlov A.M., Kozlov A.A., Liopo V.A., Mandrykin A.V., Mokritsky B.Ya., Morozova A.V., Ovchinnikov E.V., Panayioti V.A., Petreshin D.I., Popov S.A., Prushak D.A., Ryazantsev A.Yu., Skrygin O. V., Smolentsev V.P., Struk V.A., Syyanov S.Yu. and other progressive engineering technologies, equipment and tools. Collective Monograph / Moscow, 2015. Volume V
6. Shirinkin V.V., Makarov V.F., Meshkas A.E. a review of international research and the study of chip formation during the drilling of composite materials. // In the collection: High-tech at the present stage of development of mechanical engineering Materials of the VIII International scientific and technical conference. 2016.S. 260-262.
7. Lobanov D.V., Mulukhin N.V., Kuptsov M.V. A preliminary assessment of the quality of sharpening high-strength tool materials // Actual problems in mechanical engineering Volume 6 No. 1-4 of 2019, Scientific and Technical and Production Journal, 85-90
8. Yanyushkin A.S., Rychkov D.A., Lobanov D.V., Losev E.D. cutting tool for processing composite materials: its systematization and the choice of rational design // Mechanics of the XXI century. 2012. No. 11 P.234-238
9. The method of calculating the magnitude of the destruction of the cutting edge of a carbide tool / A. S. Yanyushkin, A. M. Kuznetsov, S. A. Yakimov, N. P. Petrov // Systems. Methods Technology. - 2010. - No. 8. - S. 139–144.
10. Yanyushkin A. S. Ways to solve the problems of forming a cutting tool for processing non-metallic composites / A. S. Yanyushkin, D. V. Lobanov, N. V. Mulukhin // Metal processing (technology, equipment, tools). - 2018. - T. 20, No. 3. - S.36–46.

11. Bogutsky B.V., Bratan S.M., Bogutsky V.B. comparative analysis of the possibilities of two CAD environments INVENTOR and COMPASS 3D // Mechanics of the XXI century. 2016. No. 15. P. 151-155.
12. Millin N.B., Petrov V.A., Grigoriev V.S., Plotnikov V.V. computer-aided design of technological processes in CAD "VERTICAL" // Scientific progress - creativity of young people. 2016. No. 2. P. 76.
13. Vladimirova Yu.O., Shalunov E.P., Smirnov V.M. tribotechnical testing of nanostructured material based on copper powder and evaluation of the possibility of its use in valve guides of valves of highly accelerated engines // Actual problems in mechanical engineering. 2019. Vol. 6. No. 1-4. S. 185-192.
14. Vladimirova Yu.O., Danilov P.G., Shalunov E.P. Technology and modes of machining valve guides of internal combustion engine valves from nanostructured material based on copper powder // Actual problems in mechanical engineering. 2019. Vol. 6. No. 1-4. S. 104-109.

УДК 621.762:669.3

РАЗРАБОТКА МЕХАНОЛЕГИРОВАННОЙ СВЯЗКИ АЛМАЗНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ CU-AL-C-O-ZN

Кадушкин С.Н.¹, Голышов И.С.², Смирнов В.М.³

¹Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация, swratn297@mail.ru

²Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация

³Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрена проблема разработки материалов связки для алмазных инструментов с использованием дисперсно-упрочненных композитов на основе механолегированных гранул системы Cu-Al-C-O с добавлением порошка цинка. Эти композиты могут быть альтернативой дисперсно-упрочненным композиционным материалам связки системы Cu-Al-C-O-Sn и могут служить эффективной заменой им для изготовления алмазных инструментов, эксплуатируемых при обработке твердых сплавов. Приведены предварительные результаты исследования структуры и физико-механических свойств дисперсно-упрочненных композиционных материалов связки алмазного инструмента, получаемых из смеси механолегированных гранул системы Cu-Al-C-O и порошка цинка методами спекания и горячей допрессовки. Показано, что исследуемые материалы связки системы Cu-Al-C-O-Zn состоят из гранул размерами менее 100 мкм, микротвердость которых составляет 2500 МПа. По механическим характеристикам (твердость HRB и предел прочности на сжатие) исследуемые материалы не уступают материалам связки алмазных инструментов, получаемых по аналогичной технологии из смеси механолегированных гранул системы Cu-Al-C-O и порошка олова. Разработка новых материалов связки системы Cu-Al-C-O-Zn может обеспечить, помимо повышения ресурса алмазных инструментов, также экономический эффект за счет применения более дешевого порошка цинка взамен порошка олова.

Ключевые слова: Металлическая связка, алмазный инструмент, реакционное механическое легирование, пресование, спекание, дисперсно-упрочненный композиционный материал, плотность, твердость, предел прочности на сжатие.

DEVELOPMENT OF A MECHANICALLY ALLOYED BOND OF DIAMOND TOOLS BASED ON THE CU-AL-C-O-ZN SYSTEM

Kadushkin S.N., Golyshov I.S. and Smirnov V.M.

Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Russia, swratn297@mail.ru

Abstract

The problem of the development of bond materials for diamond tools using dispersion-hardened composites based on mechanically alloyed granules of the Cu-Al-C-O system with the addition of zinc powder is considered. These composites can be an alternative to dispersion-hardened binder composite materials of the Cu-Al-C-O-Sn system and can serve as an effective substitute for the manufacture of diamond tools used in the processing of hard alloys. The preliminary results of studying the structure and physicomachanical properties of dispersion-hardened composite materials of a diamond tool bond obtained from a mixture of mechanically alloyed Cu-Al-C-O granules and zinc powder by sintering and hot pressing are presented. It was shown that the studied binder materials of the Cu-Al-C-O-Zn system

consist of granules with sizes less than 100 microns, the microhardness of which is 2500 MPa. According to the mechanical characteristics (HRB hardness and compressive strength), the studied materials are not inferior to the materials of a bundle of diamond tools obtained by a similar technology from a mixture of mechanically alloyed granules of the Cu-Al-C-O system and tin powder. The development of new bond materials of the Cu-Al-C-O-Zn system can provide, in addition to increasing the resource of diamond tools, also the economic effect due to the use of cheaper zinc powder instead of tin powder.

Keywords: Metal bond, the diamond tool, reactionary mechanical alloying, pressing, agglomeration, the dispersion strengthened composite material, density, hardness, strength on compression.

1. Введение

Эффективность работы алмазного инструмента на металлических связках зависит от её структуры и свойств. Связка наряду с концентрацией, маркой и зернистостью алмазного порошка является одной из основных характеристик, определяющих работоспособность и эффективность алмазного абразивного инструмента. Поэтому к ней предъявляется целый ряд требований [1]. Связка должна:

- прочно удерживать алмазные зерна;
- обладать достаточной твердостью и износостойкостью;
- обладать достаточной термостойкостью и иметь хорошую теплопроводность;
- в паре с обрабатываемым материалом иметь минимальный коэффициент трения и низкий коэффициент адгезии;
- иметь коэффициент линейного расширения, приближающийся к коэффициенту линейного расширения алмаза.

Выбор материала для металлической связки алмазного инструмента основывается на двух принципах: связка должна обладать высокой прочностью алмазоудержания и изнашиваться примерно с такой же скоростью, как и зерна СТМ. Связка должна подбираться исходя из того, насколько высока твердость шлама обрабатываемого материала. Если матрица недостаточно твердая, она будет изнашиваться значительно быстрее, чем зерна алмаза, что приведёт к их преждевременному вырыву из рабочего слоя инструмента. Если связка слишком износостойчива, верхний слой алмазов разрушится в процессе резания раньше, чем будут вскрыты нижележащие слои. В таком случае происходит «заполировывание» или засаливание инструмента, особенно при высокопроизводительной обработке твердых сплавов.

Восстановление режущих свойств является длительной и трудоёмкой операцией, требующей значительных затрат времени и средств. Это оказывает существенное влияние на качество изделий, производительность процесса, а также на себестоимость и конкурентоспособность готовой продукции.

Применение дисперсно-упрочненных композиционных связок на основе меди взамен обычных гетерогенных сплавов на основе Cu-Sn, например, M2-01(M1[1]), как показывают результаты исследований авторов [2-5], обеспечивают повышение эксплуатационных характеристик алмазных головок при обработке ими твердых сплавов.

Дисперсно-упрочненные связки алмазных инструментов получают на основе технологии реакционного механического легирования меди алюминием и графитом или алюминием, титаном и графитом, путем размола порошковой смеси в атриторе [2,3]. Например, гранулы системы Cu-Al-C-O, полученные таким образом, имеют структуру, состоящую из субмикроструктурной матрицы в виде твердого раствора алюминия в меди, внутри которой равномерно располагаются наночастицы оксида алюминия и графита. Материалы, полученные из таких гранул, обладают высокой твердостью, износостойкостью и высокой температурой рекристаллизации [6].

При изготовлении алмазного инструмента механолегированные гранулы смешивают с определенным количеством порошка олова и порошка меди [4,5]. В данном случае введение олова обеспечивает, во-первых, достаточную технологическую прочность холоднопрессованным брикетам и, во-вторых, жидкофазное спекание гранул и получение необходимых физико-механических свойств материала связки. Оптимальное добавляемое количество порошка олова в шихту материалов связки составляет 5...8 %масс. и дополнительно добавляемое количество порошка меди – 10...12 % масс.

Однако использование порошка олова из-за его дороговизны не всегда экономически оправдывается и целью настоящей работы является исследование возможности замены порошка олова порошком цинка. Как известно, цинк, так же, как и олово, имеет высокую растворимость в меди и низкую температуру плавления (419,6 °C) по сравнению с медью. Смешивание порошка цинка с дисперсно-упрочненными гранулами системы Cu-Al-C-O должно способствовать жидкофазному спеканию материала связки системы

Cu-Al-C-O-Zn и получению физико-механических свойств, не уступающих физико-механическим свойствам материалов связки системы Cu-Al-C-O-Sn.

В настоящей работе представлены предварительные результаты исследования влияния добавок порошка цинка на физико-механические свойства материала связки алмазного инструмента на основе механолегированных гранул системы Cu-Al-C-O.

2. Материалы и методика исследования

Одним из требований к гранулам на основе меди, используемым как основной компонент шихты материала связки для изготовления алмазных инструментов, является их гранулометрический состав. Размеры гранул должны быть не более размеров зерен алмаза. Соответственно для изготовления образцов материалов связки нами использовались механолегированные гранулы с размерами не более 100 мкм. Обычно гранулы на основе меди системы Cu-Al-C-O с таким гранулометрическим составом получают при размоле в атриторе не менее 60 мин. порошковой смеси с содержанием алюминия не менее 1% масс, и графита 0,8...1% масс. Исходя из этого, нами для проведения исследований были изготовлены механолегированные гранулы системы Cu-Al-C-O путем размол в атриторе порошковой смеси из 3% масс. порошка алюминия марки ПП-1, 0,9% масс. порошка графита марки ГК-3 и остальное порошок меди марки ПМС-1. Размол производился в среде воздуха. Количество гранул с размерами менее 100 мкм составило 95 % от всего количества полученных гранул.

С целью увеличения прочности и снижения температуры спекания при изготовлении исследуемых образцов материала связки гранулы смешивали с порошком цинка ПРЦ-1, количество которого приводится в таблице.

Технология изготовления исследуемых образцов материалов связки диаметром 13 мм и высотой 12...13 мм на основе механолегированных гранул системы Cu-Al-C-O включала следующие операции:

- получение рабочей шихты путём смешивания компонентов гранульно-порошковой смеси в «пьяной бочке»;
- изготовление брикетов холодным компактированием рабочей шихты в контейнере с внутренним диаметром 12 мм при давлении 300 МПа;
- выпрессовка полученных брикетов (цилиндрических образцов) из контейнера;

- спекание образцов под слоем твёрдого карбюризатора при температуре 750 °С в течение 60 мин;

- горячее прессование в контейнере с внутренним диаметром 13 мм, предварительно нагретом до 550 °С.

Для каждого состава и температуры спекания изготавливали по четыре образца.

Как показано авторами [1], работоспособность алмазных инструментов обычно оценивается по удельному расходу алмазов. Этот показатель эксплуатационной эффективности алмазного инструмента при обработке твердого сплава, как было установлено [1], зависит от структуры связки (от количества хрупких фаз твёрдостью <5 ГПа), её твердости, скорости износа, ударной вязкости и прочности закрепления алмазов (алмазоудержания). Оптимизацию состава исследуемых материалов связки и температуры спекания проводили на основе определения следующих физико-механических свойств: твердости, плотности и предела прочности на сжатие.

Твёрдость образцов исследуемых материалов связки измеряли на приборе Роквелла по шкале В. Плотность определяли путем взвешивания образцов на весах ВЛР-200 с точностью $\pm 0,001$ г. Объем определяли путем замера диаметра с точностью $\pm 0,01$ мм и высоты образца с точностью $\pm 0,05$ мм. Испытание на сжатие проводили на вертикальном гидравлическом прессе 2ПГ-50.

Структуру образцов исследовали на металлографическом микроскопе ZEISS Axio Vert.A1. Микроструктуру выявляли путем травления в насыщенном растворе аммиака. Микротвердость отдельных гранул в материалах связки измеряли на полуавтоматическом микротвердомере Shimadzu Micro Hardness Tester HNV-G21.

3. Результаты исследований и их обсуждение

Как показали результаты исследований (см. таблица), предел прочности на сжатие, твёрдость и плотность образцов материалов, полученных из смеси механолегированных гранул меди системы Cu-Al-C-O и порошка цинка, с увеличением количества цинка уменьшаются. Наибольшие значения твердости и прочности наблюдаются у образцов с 5 %масс. содержанием цинка. Но стоит отметить, что исследуемые образцы с содержанием цинка 5 %масс. имеют низкую прочность после холодного прессования. При выпрессовке из матрицы происходит частичное выкрашивание и разрушение с нижней

торцевой поверхности брикета. С повышением содержания порошка цинка в брикете, такого эффекта не наблюдалось. При данных режимах технологии изготовления наиболее оптимальным и стабильным сочетанием механической прочности после холодного прессования и после спекания при 750 °С и горячей допрессовки обладают образцы исследуемых материалов с содержанием цинка 7 %масс. – твёрдость 94 HRB и предел прочности на сжатие 740 МПа. Полученные значения твердости и прочности исследуемого материала связки близки к данным, полученным на образцах материалов связки системы Cu-Al-C-O-Sn [3].

Таблица 1. Зависимость физико-механических свойств исследуемых материалов связки системы Cu-Al-C-O-Zn от содержания цинка.

Содержание цинка, %масс.	Твёрдость, HRB	Плотность, кг/м ³	Предел прочности на сжатие, МПа
5	96	7610	750
7	94	7540	740
10	92	7450	690
15	86	7000	590

Микроструктура образца материала связки системы Cu-Al-C-O-Zn с содержанием цинка 7 %масс. представлена на рис. 1. Структура данного исследуемого материала состоит из отдельных гранул с размерами менее 100 мкм. Микротвердость HV гранул, измеренная при нагрузке 0,05 кг составляет 2500±50 МПа.

4. Заключение и выводы

В результате исследования установлено что наиболее оптимальными механическими свойствами, обладает материал связки, полученный из механолегированных гранул системы Cu-Al-C-O с добавлением 7 %масс. порошка цинка. Полученные значения механических свойств исследуемого материала близки к значениям, полученным для материалов связки системы Cu-

Al-C-O-Sn. Это дает перспективы применения порошка цинка взамен дорогостоящего порошка олова при изготовлении алмазного инструмента на основе механолегированных гранул системы Cu-Al-C-O.

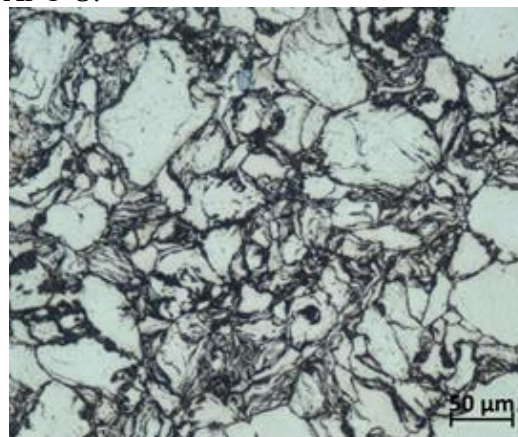


Рис. 1 Микроструктура образца материала связки системы Cu-Al-C-O-Zn с содержанием цинка 7 %масс.

Полученные результаты являются предварительными. Исследования по разработке материала связки системы Cu-Al-C-O-Zn нами продолжаются. Планируются дальнейшие исследования по оптимизации состава и температуры спекания исследуемых материалов связки. С целью повышения механических характеристик материала связки планируется добавление порошка меди в шихту совместно с порошком цинка и с гранулами системы Cu-Al-C-O. При таком составе в структуре композиционного материала связки появляется мягкая структурная составляющая в виде твердого раствора цинка в меди, что должно привести к увеличению прочности и ударной вязкости материала связки.

Также планируются определение теплопроводности и температуры ре-кристаллизации исследуемых материалов связки, изготовление на их основе алмазных шлифовальных кругов и их испытание с определением удельного расхода алмазов.

Список литературы

1. Алмазно-абразивный инструмент на металлических связках для обработки твердого сплава и стали / Галицкий В.Н., Курищук А.В., Муровский В.А. – Киев: Наук. думка, 1986. – 144 с.
2. Смирнов В.М. Свойства и структура связки на основе механолегированных гранул меди для изготовления алмазного инструмента / В.М. Смирнов, Д.А.Тимофеев, Е.П. Шалунов, И.Е. Илларионов // В сб.: Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии. Материалы II-ой Республиканской научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; ФГБОУ ВПО "Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова". 2016. С. 183-188.
3. Смирнов В.М. Высокоэффективная связка оловянная бронза-механолегированные гранулы для изготовления алмазных инструментов / В.М. Смирнов, И.С. Голушов, В.С. Григорьев // В сб: Современные техноло-

гии в машиностроении и литейном производстве материалы III Международной научно-практической конференции. 2017.- С. 358-365.

4. Smirnov V.M. Possibilities of creation and the prospect of application of a binder with the matrix filled structure «tin bronze - the mechanoalloyed granules» for production of diamond tools / V.M. Smirnov, E.P. Shalunov // *Materials Today: Proceedings*. - 2019. - Vol. 11. - Issue P1. - pp. 270-275.
5. Smirnov V.M. Physical and mechanical properties and structure of copper-based composite materials for diamond tools binder / V.M. Smirnov, E. P. Shalunov and I.S. Golyushov // *Journal of Physics: Conference Series*» 2020, v. 1431, 012054 - <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1431/1>.
6. Шалунов Е.П. Жаро- и износостойкие медные гранулированные композиционные материалы с механохимически синтезированными упрочняющими наночастицами ДИСКОМ® и высокоресурсная продукция из них / Е.П. Шалунов // *Нанотехника*. 2007. № 1 (9). С. 69-78.

References

1. Diamond-abrasive tool on metal bonds for processing hard alloy and steel / Galitsky V.N., Kurishchuk A.V., Murovsky V.A. - Kiev: Science. Dumka, 1986.- 144 p.
2. Smirnov V.M. Properties and structure of a binder based on mechanically alloyed copper granules for the manufacture of diamond tools / V.M. Smirnov, D.A. Timofeev, E.P. Shalunov, I.E. Illarionov // In: Design and promising technologies in mechanical engineering and metallurgy. Materials of the II Republican scientific and practical conference. Ministry of Education and Science of the Russian Federation; FSBEI HPE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanov". 2016.S. 183-188.
3. Smirnov V.M. Highly effective tin-bronze bond-mechano-alloyed granules for the manufacture of diamond tools / V.M. Smirnov, I.S. Golyushov, V.S. Grigoryev // In Sat: Modern technologies in engineering and foundry materials of the III International scientific and practical conference. 2017.- S. 358-365.
4. Smirnov V.M. Possibilities of creation and the prospect of application of a binder with the matrix filled structure "tin bronze - the mechanoalloyed granules" for production of diamond tools / V.M. Smirnov, E.P. Shalunov // *Materials Today: Proceedings*. - 2019. -- Vol. 11. - Issue P1. - pp. 270-275.
5. Smirnov V.M. Physical and mechanical properties and structure of copper-based composite materials for diamond tools binder / V.M. Smirnov, E. P. Shalunov and I.S. Golyushov // *Journal of Physics: Conference Series* »2020, v. 1431, 012054 - <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1431/1>.
6. Shalunov EP Heat-and wear-resistant copper granular composite materials with mechanochemically synthesized strengthening DISCOM® nanoparticles and high-resource products from them / E.P. Shalunov // *Nanotechnology*. 2007. No 1 (9). S. 69-78.

УДК 621.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА МЕТОДОВ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Д. В. Лобанов¹, А. С. Никифоров², Г. Г. Миронова³

¹ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация, lobanovdv@list.

² ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация, antonsenna510@gmail.com.

³ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация, mironovagallina@yandex.ru.

Аннотация

Высокопрочные материалы являются весьма распространенными материалами. Благодаря своим физико-механическим свойствам, они нашли широкое применение в инструментальной промышленности. Формообразование режущих элементов инструмента из высокопрочного материала, является одной из основных проблем при изготовлении. В машиностроительной отрасли известно большое количество методов обработки высокопрочных инструментальных материалов, но особое внимание уделяется финишным методам обработки, на которых изделие приобретает окончательный вид.

К финишным операциям при обработке высокопрочных материалов относят алмазное шлифование. Сегодня широкое применение нашли различные комбинированные методы алмазного шлифования с кругами на металлической связке, основанные на применении электрохимических и электрофизических процессах. Как и все комбинированные методы имеют свои плюсы и минусы, в зависимости от поставленных конечных результатов. На сегодня известно большое количество методик сравнительного анализа технологических операций, но не один из них, не учитывает качественных показателей.

В данной статье представлена методика для сравнительного анализа методов электроалмазного шлифования инструментальных материалов, учитывающая при сравнительном анализе мощность резания, расход алмазного круга, шероховатость, микротвердость, затраты на инструмент и электроэнергию. С учетом использования однотипных: оборудования, оснастки, режимов обработки, квалификации рабочих, параметров обрабатываемого изделия и его характеристик.

Ключевые слова: шлифование, обработка, качество, инструмент, себестоимость, показатель, формообразование, анализ, точность, работоспособность.

DEFINITION OF INDICATORS AND THE CREATION OF A METHODOLOGY FOR THE COMPARATIVE ANALYSIS OF DIAMOND GRINDING METHODS

D.V. Lobanov¹, A.S. Nikiforov², G.G. Mironova³

¹ Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Russian Federation, lobanovdv@list.ru

² Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Russian Federation, antonsenna510@gmail.com.

³ Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Russian Federation, mironovagallina@yandex.ru.

Abstract

High strength materials are very common materials. Due to their physical and mechanical properties, they have found wide application in the tool industry. The shaping of the cutting elements of the tool from high strength material is one of the main problems in the manufacture. In the engineering industry, a large number of methods for processing high-strength tool materials are known, but special attention is paid to finishing methods of processing, at which the product acquires its final appearance.

The finishing operations in the processing of high-strength materials include diamond grinding. Today, various combined methods of diamond grinding with circles on a metal bond, based on the use of electrochemical and electro-physical processes, are widely used. Like all combined methods have their pros and cons, depending on the final results. Today, a large number of methods for the comparative analysis of technological operations are known, but not one of them does not take into account qualitative indicators.

This article presents a methodology for the comparative analysis of the methods of electro-diamond grinding of tool materials, which takes into account the cutting power, diamond wheel consumption, roughness, microhardness, tool and electric energy costs in a comparative analysis. Given the use of the same type: equipment, tooling, processing modes, qualifications of workers, parameters of the processed product and its characteristics.

Keywords: grinding, processing, quality, tool, cost, indicator, shaping, analysis, accuracy, performance.

Высокопрочные материалы являются одними из широко распространенных материалов, применяющихся в различных отраслях промышленности, где к конечному изделию предъявляются высокие требования к его эксплуатационным характеристикам, таким как износостойкость, прочность, термостойкость, предел прочности на изгиб и сжатие, абразивный износ и т.д. [1, 2, 3]. Особую нишу подобные материалы заняли в инструментальной промышленности, в частности, для изготовления высокопроизводительного инструмента [4, 5]. Основная проблема, при изготовлении инструментов из этих материалов, является сложность формообразования режущих поверхностей.

В машиностроении известно большое количество методов формообразования высокопрочных материалов (лезвийная, абразивная, лазерная, электрохимическая, электроэрозионная, ультразвуковая, магнитно-абразивная и другие), при этом, наибольшую значимость при имеют финишные операции - завершающий этап производства изделия, где устанавливаются окончательные геометрические параметры, шероховатость поверхностей, свойства поверхностного слоя и другое [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

В технологических процессах при обработке высокопрочных материалов к финишным операциям относят алмазное шлифование, т.к. обработка с применением инструмента из другого абразивного материала на заключительных

этапах формообразования не позволяет достигнуть требуемых показателей.

В наше время широкое применение нашли комбинированные методы финишной обработки, основывающиеся на механической обработке алмазными кругами с одновременным использованием электрофизических и электрохимических процессов. К ним относятся [14, 15]:

- алмазное шлифование с непрерывной электрохимической правкой круга;
- алмазное шлифование электрохимическим методом;
- комбинированное электроалмазное шлифование с одновременной непрерывной правкой круга.

Рабочим инструментом в комбинированных алмазных методах обработки является алмазный круг на металлической связке, в первую очередь это обусловлено возможностью проводить электрический ток, так как комбинированные методы связаны прежде всего с электрическими процессами, а круги на органической и керамической связках такой способности не имеют. А во-вторых, они имеют высокую теплостойкость и износостойкость. К сожалению процесс шлифования алмазными кругами на металлической связке связан с таким явлением, как засаливание, что негативно влияет на работоспособность инструмента и качество изделия. Для восстановления работоспособности круга проводят правку, которая дает возможность вести обработку восстановленным после правки, алмазным слоем, что повышает производительность, но при этом снижается ресурс работы круга, повышая себестоимость обработки.

Обеспечение требований к точности и качеству поверхностей детали (изделия), влечет за собой ряд проблем [16, 17, 18, 19, 20], одними из которых является повышенная себестоимость и трудоемкость. К сожалению, на сегодня нет четкого разграничения, где и какой способ применить, так как один и тот же материал можно обрабатывать различными методами обработки. Комбинированные методы имеют свои достоинства и недостатки, в зависимости от области и цели их применения. На сегодняшний день существует большое множество методик сравнительного анализа технологических процессов. Однако, эти способы, как правило, рассматривают методы обработки, учитывая только ограниченное количество параметров [21].

Для сравнительного анализа методов алмазного шлифования воспользуемся характеристиками, которые будут охватывать как качественные показатели (точность размеров, шеро-

ховатость, микротвёрдость поверхности, отсутствие дефектов и т.д.) такие экономические (расход абразивного инструмента, производительность, энергозатратность, ресурсоемкость и т.д.).

Нами разработана методика, позволившая учесть качество шлифования и стоимость операции обработки. При расчетах приняты следующие допущения: обработка ведется на одном и том же оборудовании с применением одинаковой оснастки, инструмента, режимов и машинного времени, изделий с одинаковыми формами и размерами, обработку выполняют рабочий одного и того же разряда. Так, величина затрат на изменение качества исходного состояния после комбинированной электроалмазной обработки, определяется как:

$$Z_{\text{кач.}} = \frac{Z_{\text{обр.}}}{K_{\text{кач.}}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{кач.}}$ – затраты на изменение исходного качества (затраты на обработку), руб.; $Z_{\text{обр.}}$ – затраты на обработку, руб.; $K_{\text{кач.}}$ – коэффициент, учитывающий качественные параметры обработки.

Затраты на обработку определяются из стоимости на электроэнергию и на инструмент:

$$Z_o = Z_{\text{эл.энерг.}} + Z_{\text{инстр.}}, \quad (2)$$

где $Z_{\text{эл.энерг.}}$ – затраты на электроэнергию, руб.; $Z_{\text{инстр.}}$ – затраты на инструмент, руб.

Затраты на электроэнергию находим по формуле:

$$Z_{\text{эл.энерг.}} = N_{\text{рез.}} \cdot T_o \cdot C_{\text{эл.энерг.}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{рез.}}$ – мощность резания при обработке, кВт; T_o – основное время (машинное время), затраченное на обработку, ч; $C_{\text{эл.энерг.}}$ – стоимости единицы электрической энергии, руб/кВт·ч.

Затраты на рабочий инструмент определяется как:

$$Z_{\text{инстр.}} = C_{\text{инстр.}} \cdot q \cdot V_{\text{мат.}}, \quad (4)$$

где $C_{\text{инстр.}}$ – стоимость инструмента (алмазного круга), принимаемая как отношение стоимости алмазного круга к объему алмазоносного слоя, руб/мм³; q – удельный расход алмазного круга, мм³/см³; $V_{\text{мат.}}$ – объем снятого материала, см³.

Подставив формулы (3) и (4) в выражение (2) получим:

$$Z_o = N_{рез.} \cdot T_o \cdot C_{эл.энер.} + C_{инстр.} \cdot q \cdot V_{мат.}, \quad (5)$$

Коэффициент, определяющий изменение качества обработки имеет вид:

$$K_{кач.обр.} = K_{Ra} \cdot K_{HV}, \quad (6)$$

где K_{Ra} - коэффициент изменения шероховатости поверхности; K_{HV} - коэффициент изменения микротвердости поверхностного слоя.

Коэффициент изменения шероховатости определяется по формуле:

$$K_{Ra} = \frac{Ra_{исх.}}{Ra_{обр.}}, \quad (7)$$

где $Ra_{исх.}$ - исходная шероховатость поверхности, мкм; $Ra_{обр.}$ - шероховатость поверхности, после обработки, мкм.

Коэффициент изменения микротвердости после обработки определяется как:

$$K_{HV} = \frac{HV_{обр.}}{HV_{исх.}}, \quad (8)$$

Список литературы:

1. Борисов М.А. Способ электрохимической обработки труднодоступных поверхностей без применения правящего электрода / М.А. Борисов, В.А. Мишин, Д.А. Дементьев // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: конф. – Чебоксары, 2016. – С.234-237.
2. Владимирова Ю.О. Разработка жаропрочных и износостойких наноструктурных материалов на основе порошковой меди для поршней литейного оборудования / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, И.Е. Илларионов // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы: конф. – Казань, 2018. – С.23-27.
3. Владимирова Ю.О. Разработка жаро- и износостойкого нанокмпозиционного материала на основе порошковой меди и технологии его изготовления для поршней машин литья под давлением // Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов // Новые материалы и перспективные технологии: науч. форум – Москва, 2018. – С.106-110.
4. Скрипняк В.А. Механические свойства наноструктурной керамики на основе диборида циркония / В.А. Скрипняк, Е.Г. Скрипняк, И.К. Ваганова, А.С. Янюшкин, В.В. Скрипняк, Д.В. Лобанов // Известия высших учебных заведений. Физика. – Томск, 2012. – Т. 55, № 7-2. – С.119-123.
5. Rechenko D.S. Hard-alloy metal-cutting tool for the finishing of hard materials / Popov A.Y., D.Y. Belan, A.A. Kuznetsov // Russian Engineering Research. – Moscow, 2017. – Т. 37, № 2. – С.148-149.
6. Борисов М.А. Гибридная технология электрохимической обработки сложнопрофильных изделий / М.А. Борисов, Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – Новосибирск, 2019. – Т. 21, № 1. – С.25-34.
7. Носенко В.А. Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности / В.А. Носенко, В.Н. Тышкевич, Орлов С.В., А.В. Саразов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – Челябинск, 2014. – Т. 14, № 4. – С.67-78.
8. Патент РФ № 2008110458/02, 18.03.2008. Орлов С.В., Тышкевич В.Н., Коротков Б.И., Носенко В.А. Способ устранения изогнутости торцов деталей класса колец шлифованием // Патент России №2370354. 2009. Бюл. № 29.
9. Патент РФ № 2010104343/02. 08.02.2010. Реченко Д.С., Попов А.Ю. Способ обработки сверхтвердых материалов // Патент России 2440229. 20.01.2012 Бюл. №2.
10. Soler Ya.I. Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride / Ya.I. Soler, D.Yu. Kazimirov, A.V. Prokop'eva // Russian Engineering Research. – Moscow, 2007. – Т. 27, № 12. – С.916-919.
11. Авторское свидетельство SU 1796414 A1, 23.02.1993. Новоселов Ю.К., Харченко А.О., Харчин В.Л., Братан С.М., Сопин П.К., Фалалеев А.П. Способ плоского шлифования // Заявка № 4925399 от 08.04.1991.
12. Skeebe V.Yu. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Yu. Skeebe, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyskin, K.A. Parts // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 7. Сер. "VII International Scientific and Practical Conference on Innovations in Mechanical Engineering, ISPCIME 2015", 2016. – С.012-016.

где $HV_{обр.}$ – микротвердость поверхности, полученная после обработки; $HV_{исх.}$ - исходная микротвердость поверхности.

Подставив (7) и (8) в формулу (6) получим

$$K_{кач.обр.} = \frac{Ra_{исх.}}{Ra_{обр.}} \cdot \frac{HV_{обр.}}{HV_{исх.}}, \quad (9)$$

Подставив (5) и (9) в выражение (1), то получим:

$$Z_{кач.} = \frac{(N_{рез.} \cdot T_o \cdot C_{эл.энер.} + C_{инстр.} \cdot q \cdot V_{мат.}) \cdot Ra_{исх.} \cdot HV_{обр.}}{Ra_{исх.} \cdot HV_{обр.} \cdot Ra_{обр.} \cdot HV_{исх.}}, \text{ руб.}$$

Данная формула показывает не только стоимостные, но и качественные показатели электроалмазной обработки. Конечный результат, позволяет определить величину затрат на качество, что в дальнейшем дает нам определить какой из методов электроалмазной обработки является наиболее выгодным для достижения качественных характеристик.

13. Захаров О.В. Бесцентровое шлифование конических поверхностей на станках с продольной подачей / О.В. Захаров // Автоматизация и современные технологии, 2006. – № 7. – С.14-16.
14. Коновалов Д.А. Пути повышения эффективности плоского шлифования за счет комбинированной электроалмазной обработки / Д.А. Коновалов, А.С. Никифоров, М.В. Купцов // в сборнике: Современные технологии: проблемы и перспективы Сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, 2019. – С.33-37.
15. Янюшкин А.С. Повышение эффективности алмазного инструмента на металлической связке при шлифовании высокопрочных материалов // А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, В.Ю. Скиба, В.А. Гартфельдер, Л.С. Секлетина // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты), 2017. – № 3 (76). – С.17-27.
16. Лобанов Д.В. Предварительная оценка качества затачивания высокопрочных инструментальных материалов / Д.В. Лобанов, Н.В. Мулюхин, М.В. Купцов // Актуальные проблемы в машиностроении, 2019. – Т. 6, № 1-4. – С.85-90.
17. Янюшкин А.С. Исследование качества поверхности при формировании режущей кромки фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов / А.С. Янюшкин, Д.А. Рычков, Д.В. Лобанов // Актуальные проблемы в машиностроении, 2014. – № 1. – С.582-588.
18. Янюшкин А.С. Пути решения проблем формообразования режущего инструмента для обработки неметаллических композитов / А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, Н.В. Мулюхин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты), 2018. – Т. 20, № 3. – С.36-46.
19. Никифоров А.С. Проблемы трещинообразования при финишной обработке высокопрочных материалов / А.С. Никифоров, О.С. Рафанова, Н.В. Мулюхин // в сборнике: Современные технологии: проблемы и перспективы Сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, 2019. – С.77-82.
20. Братан С.М. Обеспечение качества деталей при круглом шлифовании в условиях плавучих мастерских / С.М. Братан, А.О. Харченко, Е.А. Владецкий // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018. – Т. 22, № 12 (143). – С.21-34.
21. Лобанов Д.В. Методика оценки комбинированных методов электроалмазной обработки твердых сплавов / Д.В. Лобанов, Е.Д. Лосев, Е.И. Кирпикова, А.С. Янюшкин // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2012. – Т. 1, № 8. – С.152-153.

References:

1. Borisov M.A. The method of electrochemical processing of hard-to-reach surfaces without the use of a ruling electrode / M.A. Borisov, V.A. Mishin, D.A. Dementiev // Modern technologies in mechanical engineering and foundry: conf. - Cheboksary, 2016. -- S.234-237.
2. Vladimirova Yu.O. Development of heat-resistant and wear-resistant nanostructured materials based on copper powder for pistons of foundry equipment / Yu.O. Vladimirova, E.P. Shalunov, I.E. Illarionov // Innovative engineering technologies, equipment and materials: conf. - Kazan, 2018. -- S.23-27.
3. Vladimirova Yu.O. Development of heat and wear-resistant nanocomposite material based on copper powder and its manufacturing technology for pistons of injection molding machines // Yu.O. Vladimirova, E.P. Shalunov // New materials and promising technologies: scientific. Forum - Moscow, 2018. - P.106-110.
4. Skripnyak V.A. Mechanical properties of nanostructured ceramics based on zirconium diboride / V.A. Skripnyak, E.G. Skripnyak, I.K. Vaganova, A.S. Yanyushkin, V.V. Skripnyak, D.V. Lobanov // Proceedings of higher educational institutions. Physics. - Tomsk, 2012. - T. 55, No. 7-2. - S.119-123.
5. Rechenko D.S. Hard-alloy metal-cutting tool for the finishing of hard materials / Popov A.Y., D.Y. Belan, A.A. Kuznetsov // Russian Engineering Research. - Moscow, 2017. - T. 37, No. 2. - S.148-149.
6. Borisov M.A. Hybrid technology of electrochemical processing of complex products / M.A. Borisov, D.V. Lobanov, A.S. Yanyushkin // Metal processing (technology, equipment, tools). - Novosibirsk, 2019.- T. 21, No. 1. - P.25-34.
7. Nosenko V.A. Flat grinding of the ends of the rings of large bearings with the required surface quality / V.A. Nosenko, V.N. Tyszkiewicz, Orlov S.V., A.V. Sarazov // Bulletin of the South Ural State University. Series: Engineering. - Chelyabinsk, 2014. - T. 14, No. 4. - P.67-78.
8. RF patent No. 2008110458/02, 03/18/2008. Orlov S.V., Tyshkevich V.N., Korotkov B.I., Nosenko V.A. The way to eliminate the curvature of the ends of the parts of the class of rings by grinding // Patent of Russia №2370354. 2009. Bull. Number 29.
9. RF patent No. 2010104343/02. 02/08/2010. Rechenko D.S., Popov A.Yu. A method of processing superhard materials // Russian Patent 2440229. 01/20/2012 Bull. No. 2.
10. Soler Ya.I. Optimizing the grinding of high-speed steel by wheels of cubic boron nitride / Ya.I. Soler, D.Yu. Kazimirov, A.V. Prokop'eva // Russian Engineering Research. - Moscow, 2007. - T. 27, No. 12. - S.916-919.
11. Copyright certificate SU 1796414 A1, 02.23.1993. Novoselov Yu.K., Kharchenko A.O., Kharchin V.L., Bratan S.M., Sopin P.K., Falaleev A.P. The method of flat grinding // Application No. 4925399 from 04/08/1991.
12. Skeebe V.Yu. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Yu. Skeebe, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyskin, K.A. Parts // Collected: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 7. Ser. "VII International Scientific and Practical Conference on Innovations in Mechanical Engineering, ISPCIME 2015", 2016. - S.012-016.

13. Zakharov O.V. Centerless grinding of conical surfaces on machines with longitudinal feed / O.V. Zakharov // Automation and modern technology, 2006. - No. 7. - S.14-16.
14. Konovalov D.A. Ways of increasing the efficiency of flat grinding due to the combined electro-diamond processing / D.A. Konovalov, A.S. Nikiforov, M.V. Kuptsov // in the collection: Modern technologies: problems and prospects Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference for graduate students, students and young scientists, 2019. - P.33-37.
15. Yanyushkin A.S. Improving the efficiency of diamond tools on a metal bond when grinding high-strength materials // A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, V.Yu. Skiba, V.A. Gartfelder, L.S. Sekletina // Metal processing (technology, equipment, tools), 2017. - No. 3 (76). - S.17-27.
16. Lobanov D.V. Preliminary assessment of the quality of sharpening high-strength tool materials / D.V. Lobanov, N.V. Muluhin, M.V. Kuptsov // Actual problems in mechanical engineering, 2019.- T. 6, No. 1-4. - S.85-90.
17. Yanyushkin A.S. Study of surface quality during the formation of the cutting edge of a milling tool for processing composite materials / A.S. Yanyushkin, D.A. Rychkov, D.V. Lobanov // Actual problems in mechanical engineering, 2014. - No. 1. - S.582-588.
18. Yanyushkin A.S. Ways to solve the problems of forming a cutting tool for processing non-metallic composites / A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, N.V. Muluhin // Metal processing (technology, equipment, tools), 2018.- T. 20, No. 3. - P.36-46.
19. Nikiforov A.S. Problems of crack formation during finishing of high-strength materials / A.S. Nikiforov, O.S. Rafanova, N.V. Muluhin // in the collection: Modern technologies: problems and prospects Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference for graduate students, students and young scientists, 2019. - P.77-82.
20. Bratan S.M. Quality assurance of parts during circular grinding in the conditions of floating workshops / S.M. Bro, A.O. Kharchenko, E.A. Vladetskaya // Bulletin of Irkutsk State Technical University, 2018.- T. 22, No. 12 (143). - S. 21-34.

УДК 621.9

МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОРНОГО ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Д. В. Лобанов¹, М.В. Купцов², А.У. Закпаева³

¹ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация, lobanovdv@list.

² ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация, ALL-QSim@yandex.ru.

³ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова», г. Чебоксары, 428015, Российская Федерация, zakpaeva@mail.ru.

Аннотация

Представлены перспективы использования композиционных материалов в качестве конструктивных. Отмечена специфика обработки композитов лезвийным инструментом. Отмечается целесообразность применения сборного инструмента по сравнению с цельными конструкциями. Многообразие сборного инструмента приводит к сложности его выбора для конкретных условий производства. В статье рассмотрен один из путей повышения эффективности процесса подготовки производства изделий из композиционных материалов. Он заключается в моделировании конструктивных решений сборного инструмента для дальнейшей адаптации модели под создание программного обеспечения для систематизации инструмента и автоматизированного его выбора. Для перехода к процессу автоматизации возникает необходимость систематизации и сбора данных об инструменте, а также описанию его характеристик. В качестве примера рассмотрено моделирование фрезерного инструмента на основе теории графов. Модель включает в себя информацию о конструктивных, размерных и геометрических характеристиках режущей, корпусной и крепежной частях в совокупности с необходимыми дополнительными данными, характеризующими инструмент. Обобщенная графовая модель содержит все известные на сегодняшний день характеристики конструкций, являясь при этом открытой для дальнейшего совершенствования при появлении новой информации. Модель предназначена для анализа и синтеза конструктивных решений инструмента, имеется возможность представления конечного результата не только в виде иерархической структуры графа, но и в матричной форме. Такое представление позволяет хранить информацию о конструкциях в цифровом виде и является основой для дальнейшей алгоритмизации и автоматизации процесса инструментальной подготовки производства изделий и композитов.

Ключевые слова: метод граф, подготовка производства, сборный фрезерный инструмент, композиционные материалы, лезвийный инструмент, обработка, инструмент, себестоимость, показатель, анализ.

MODELING MODULAR BLADE TOOL FOR PROCESSING COMPOSITE MATERIALS

D.V. Lobanov¹, M.V. Kuptsov², A.U. Zakpaeva³

¹ Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Russian Federation, lobanovdv@list.ru

² Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Russian Federation, ALL-QSim@yandex.ru.

³ Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Russian Federation, zakpaeva@mail.ru.

Abstract

The prospects of using composite materials as structural materials are presented. The specificity of processing composites with a blade tool is noted. The expediency of using a precast tool in comparison with solid structures is noted. The variety of prefabricated tools leads to the complexity of their choice for specific production conditions. The article considers one of the ways to increase the efficiency of the process of preparing the production of products from composite materials. It consists in modeling the constructive solutions of a prefabricated tool for further adaptation of the model to create software for systematizing the tool and its automated selection. To go to the automation process, it becomes necessary to systematize and collect data about the tool, as well as a description of its characteristics. As an example, modeling of a milling tool based on graph theory is considered. The model includes information on the structural, dimensional and geometric characteristics of the cutting, body and mounting parts in conjunction with the necessary additional data characterizing the tool. The generalized graph model contains all currently known structural characteristics, while being open to further improvement when new information appears. The model is intended for analysis and synthesis of constructive solutions of the tool, it is possible to present the final result not only in the form of a hierarchical structure of the graph, but also in matrix form. This representation allows you to store information about the structures in digital form and is the basis for further algorithms and automation of the process of instrumental preparation of production of products and composites.

Keywords: graph method, production preparation, prefabricated milling tool, composite materials, blade tool, processing, tool, cost, indicator, analysis.

Широкое применение в промышленности получили композиционные материалы, так как благодаря своим высоким удельным физико-механическим свойствам, такие материалы являются отличной заменой традиционных конструкционных материалов [1-3,7,8]. Лезвийная обработка композиционных материалов отличается от обработки металлов, за счет их специфических свойств. Режущий инструмент для обработки изделий из композиционных материалов должен удовлетворять: обеспечению высоких и стабильных режущих характеристик; формированию и отводу стружки; обеспечению заданных условий по точности обработки; универсальности применения для типовых обрабатываемых поверхностей различных изделий на разных моделях станков; быстросменности при переналадке на другую обрабатываемую деталь или замене затупившегося инструмента [5,9-12].

Следует отметить, что при лезвийной обработке изделий из композиционных материалов целесообразно использовать сборный инструмент, он имеет ряд преимуществ: высокая экономия режущего материала; взаимозаменяемость; возможность применения одного корпуса для закрепления режущих пластин; простота замены пластины после её затупления [9,14,15].

Существует большое разнообразие видов сборного инструмента в зависимости от свойств

обрабатываемого материала. Технологическая подготовка режущего инструмента - это сложный процесс, состоящий из необходимости решения ряда задач, а именно расчет, конструирование, изготовление и эксплуатация. Основные свойства и характеристики режущего инструмента можно описать в виде математических моделей, которые могут хранить в себе информацию о инструменте и описывать его. В процессе сбора информации о конструкции сборного инструмента, его анализе, и структурирование в процессе автоматизации проектирования, удобнее представить весь объём информации в виде графовой модели, из за ее универсальности и наглядности. Модель позволит описать варианты конструкций сборного лезвийного инструмента, разложить на составные части для получения более полного представления о элементах, входящих в сборку, построить логическую схему технического решения по систематизации информации и автоматизации процесса подготовки выбора инструмента для обработки композиционного материала. Кроме того, модель при необходимости может быть дополнена другими конструкциями и составляющими частями сборного инструмента.

В качестве примера рассмотрим модель сборного фрезерного инструмента и его составных компонентов. Модель, представленная на

«рис.1», состоит из четырех основных частей: X1 – режущая часть; X2 – корпусная часть; X3 – крепежная часть; X4 – дополнительные параметры.

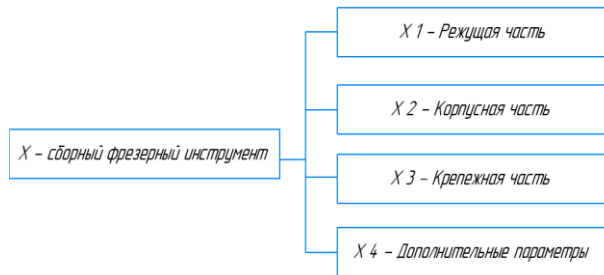


Рис.1. Элементы сборного фрезерного инструмента.

Режущая часть (вершина X1) характеризуется параметрами: X11– вид конструктивного исполнения режущей части; X12– параметрические размеры; X13 – материал; X14 – профиль резца; X15 – износостойкое покрытие; X16 – упрочнение режущей части; X17 – дополнительные параметры (рис. 2).

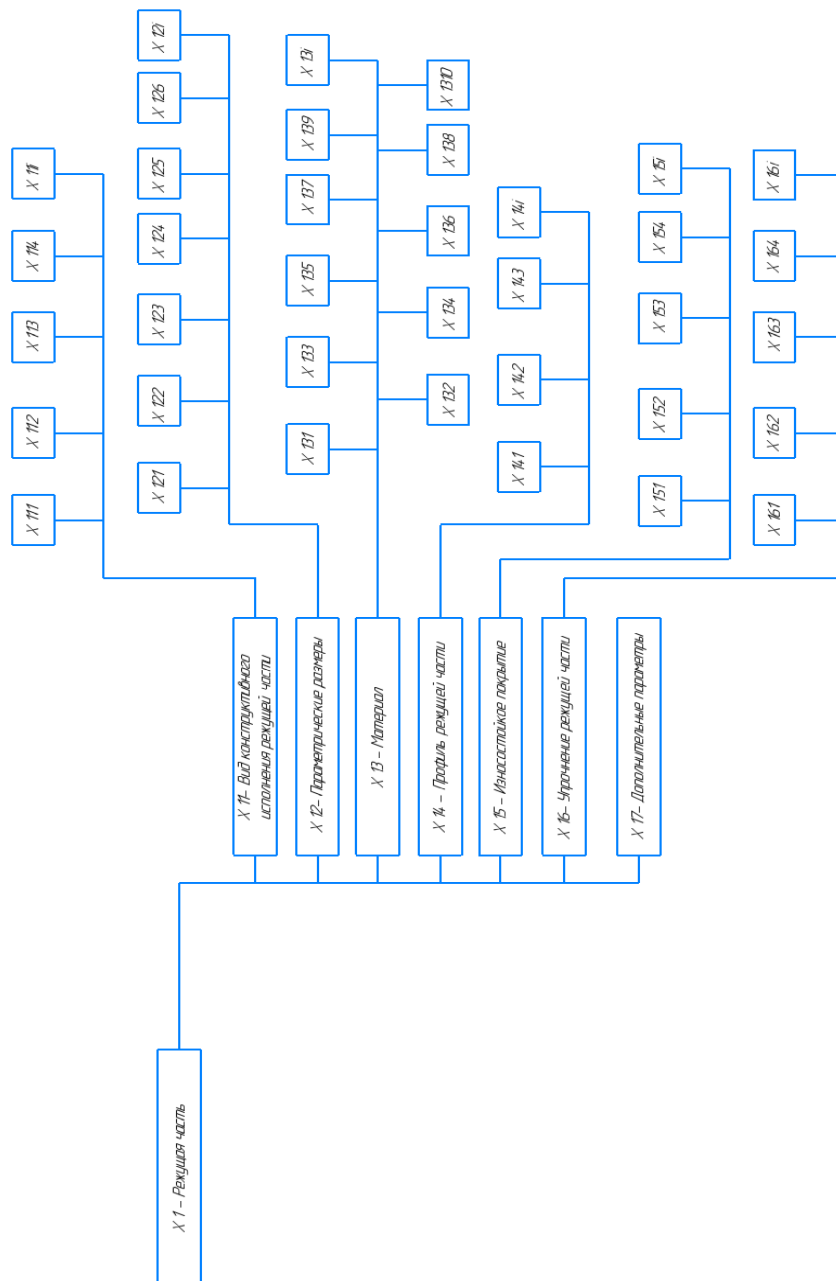


Рис. 2. Графовая модель режущей части сборного фрезерного инструмента.

Вид конструктивного исполнения режущей части (вершина X11) характеризуется параметрами: X111 – цельная режущая часть; X112 – сборная-клееное соединение; X113 – сборная-паяное соединение; X114 – сборная с механическим креплением; X11i.- дополнительные параметры.

Параметрические размеры режущей части (вершина X12) характеризуются: X121 – диаметром резания; X122 – длиной пластины; X123 – шириной пластины; X124 – высотой пластины; X125 – величиной переднего угла; X126 – величиной заднего угла; X12i.- дополнительные параметры.

Материал режущей части сборной фрезы (вершина X13) на модели можно представить следующим образом: X131 – углеродистые стали; X132 – легированные стали; X133 – обычные быстрорежущие стали (БРС); X134 – БРС повышенной прочности; X135 – однокарбидный вольфрамо-кобальтовый твердые сплавы (ВКТС); X136 – двухкарбидный ВКТС; X137 – трехкарбидный ВКТС; X138 – безвольфрамовый твердый сплав; X139 – минералоке-рамика; X1310 – сверхтвердый материал; X13i.- дополнительные параметры.

Профиль режущей части сборной фрезы (вершина X14), характеризуется следующими параметрами: X141 – прямой; X142– фасонный; X14i.- дополнительные параметры.

Износостойкое покрытие и упрочнение режущей части (вершина X15) характеризуется: X151 – видом упрочнения; X152 – глубиной упрочнения; X153 – материалом покрытия; X154– толщиной покрытия; X15i.- дополнительные параметры.

На рис. 3 представлена графовая модель корпусной части (вершина X2) сборного фрезерного инструмента, которая характеризуется следующими параметрами: X21 – пазы в корпусной части; X22 – упрочнение корпусной части; X23 – материал корпусной части; X24– размеры корпусной части.

Пазы в корпусной части (вершина X21) характеризуются параметрами: X211 – количество пазов; X212 – размеры пазов ($h \times b$); X213 – углы заклинивания паза; X21i.- дополнительные параметры.

Упрочнение корпусной части (вершина X22) характеризуется: X221 – общее упрочнение; X222 – местное; X223 – не имеется; X22i.- дополнительные параметры.

Материал корпусной части (вершина X23) характеризуется такими вариантами сталей как: X231 – конструкционная сталь; X232 – легированная сталь; X23i.- дополнительные параметры.

Размеры корпусной части (вершина X24) характеризуются параметрами: X241 – диаметр посадочного отверстия; X242 – точность отверстия; X243 – наружный диаметр корпусной части; X244 – ширина корпусной части; X24i.- дополнительные параметры.

Крепежная часть (вершина X3) характеризуется следующими параметрами: X31 – крепление клином; X32 – регулировочный болт; X33 – крепежный болт; X34 – штифт («рис. 4»).

Клиновое крепление (вершина X31) характеризуется параметрами: X311 – количество клиньев; X312 – линейные размеры; X313 – угол заклинивания; X31i.- дополнительные параметры.

Регулировочный болт (вершина X32) характеризуется параметрами: X321 – количество болтов; X322 – длина резьбы; X323– точность резьбы; X32i.- дополнительные параметры.

Крепежный болт (вершина X33) характеризуется аналогичными параметрами: X331 – количество крепежных болтов; X332 – обозначение резьбы; X333 – точность резьбы; X33i.- дополнительные параметры.

Крепление штифтом (вершина X34) характеризуется следующими параметрами: X341 – количество штифтов; X34i.- дополнительные параметры.

Применение графовых моделей позволяет описать варианты конструкций сборного фрезерного инструмента, проанализировать составляющие, что даст полное представление о конструкции инструмента, а также позволит скомпоновать имеющуюся информацию, структурировать ее и создать базу данных по лезвийному инструменту, для обработки композиционных материалов. Такую модель можно расширить и дополнить другой информацией по конструкциям фрезерного инструмента, появляется возможность применения и к другим типам инструментов [4,6,13,16].

Данные внесенные в графовые модели можно представить, как в виде структуры графа, но и в матричной форме. Представление данных в цифровом виде является основой для дальнейшей алгоритмизации и автоматизации процесса инструментальной подготовки производства изделий и композитов. Такой алгоритм позволит выбирать инструмент в зависимости, от параметров, которые будут важны для обработки, и тем самым поспособствует созданию программного модуля по автоматизации подготовки производства по выбору лезвийного инструмента, для повышения эффективности, ускорение принятия обоснованного решения по выбору инструмента в условиях производства [4,6,11-16].

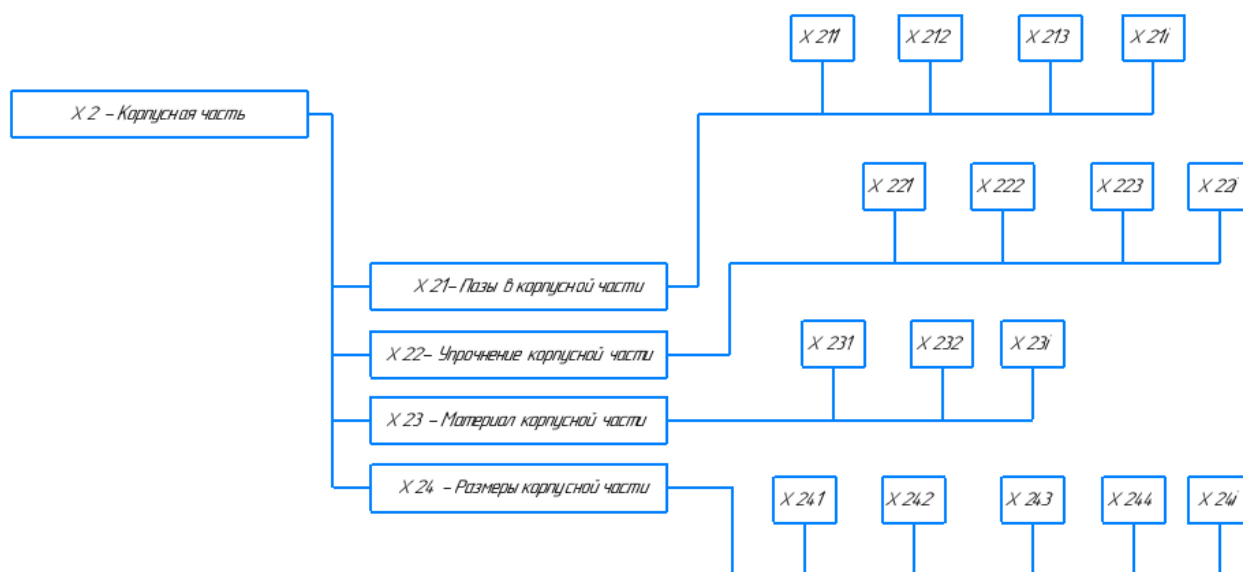


Рис. 3. Графовая модель корпусной части сборного фрезерного инструмента.

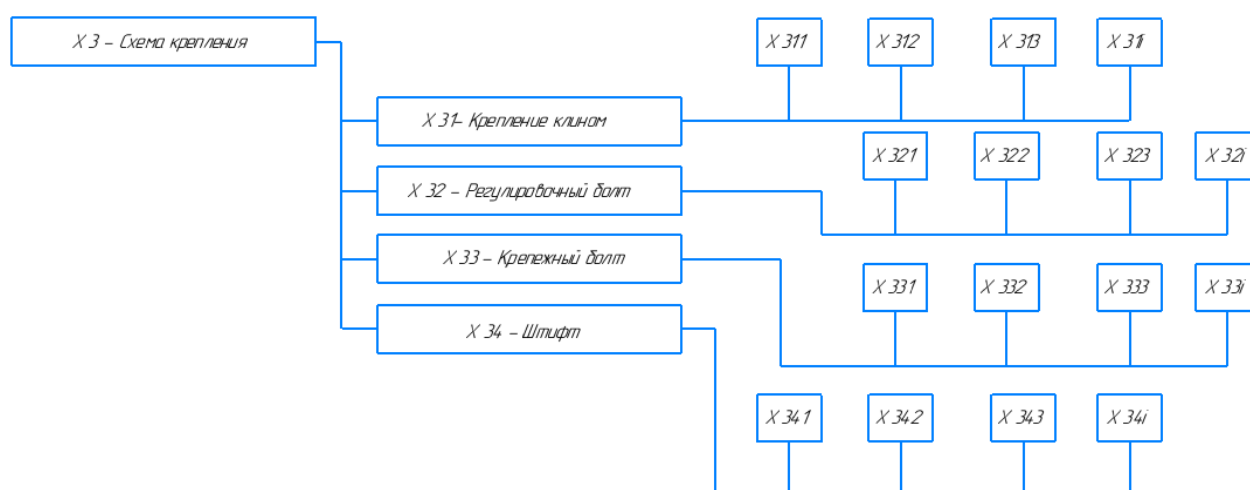


Рис. 4. Графовая модель крепежной части сборного фрезерного инструмента.

Список литературы

1. Кербер М.Л. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / учеб. пособие под ред. А.А. Берлина. - 3-е испр. изд. - СПб.: Профессия, 2011. - 560 с., ил.
2. Markov A.M. Technological features machining of composite materials // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2014. № 7 (37). P. 3-8.
3. Mordvin M.A., Yakimov S.V., Baklushin S.M. Recommendations for the machining of composite materials // Vestn. Izh. gos. tekhn. un-ta. 2010. № 2. P. 26-29.
4. Доц М.В., Марков А.М. Автоматизация проектирования токарной обработки композиционных материалов // Инновации в машиностроении. Сборник трудов 2-ой Международной научно-практической конференции. Под редакцией В.Ю. Блюменштейна. г. Кемерово, 2011. Издательство: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (Ке-мерово). - С. 112-115.
5. Ярославцев В.М. Технологические решения проблем обработки ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов // Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. Спец. выпуск «Композиционные материалы, конструкции и технологии», 2005. - С. 41-62.
6. Рудых О.Л., Меламед Э.Ш. Основы систем автоматизированного проектирования строительных конструкций: Учебное пособие. Ч.2 Виды обеспечений САПР (программно-аппаратные средства). - Хабаровск: ДВГУПС, 1998. - 157 с

7. Владимирова Ю.О. Разработка жаропрочных и износостойких наноструктурных материалов на основе порошковой меди для поршней литейного оборудования / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, И.Е. Илларионов // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы: конф. – Казань, 2018. – С.23-27.
8. Владимирова Ю.О. Разработка жаро- и износостойкого нанокompозиционного материала на основе порошковой меди и технологии его изготовления для поршней машин литья под давлением // Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов // Новые материалы и перспективные технологии: науч. форум – Москва, 2018. – С.106-110.
9. Катаева С.А., Марков А.М., Черданцев П.О., Гайст С.В., Лапенков Е.Ю. Конструкции фрез для обработки стекло-пластиков//Актуальные проблемы в машиностроении. 2016. № 3. С. 307 -312.
10. Макаров В.Ф., Мешкас А.Е., Ширинкин В.В. Исследование процессов механической обработки деталей авиационно-космической техники из новых композиционных материалов // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2015. – Вып. 22. С. 14-22.
11. Мешкас А.Е., Макаров В.Ф., Ширинкин В.В. Технологии, позволяющие повысить эффективность обработки композиционных материалов методом фрезерования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 8-2. С. 291 - 299.
12. A.F. Rezchikov, A.V. Kochetkov, and O.V. Zakharov. Mathematical models for estimating the degree of influence of major factors on performance and accuracy of coordinate measuring machines. // MATEC Web Conf. 2017. Vol. 129. Pp. 01054.
13. Лобанов, Д. В. Автоматизированная система создания баз данных и многокритериального сравнительного анализа конструкций сборного фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов [Текст] / Д. В. Лобанов, А. С. Янюшкин, Д. А. Рычков // САПР и графика. 2011. - № 3. - С. 71-73.
14. Рычков, Д.А. Критериальная оценка конструкции режущего инструмента на примере сборной фрезы для обработки композиционных материалов/Д.А. Рычков, А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов: Главный механик. - 2011. -№5. -С. 48 -54.
15. Янюшкин, А.С. Сравнительный анализ конструкций фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов/А.С. Янюшкин, Д.В. Лобанов, Д.А. Рычков: Системы. Методы. Технологии: -2009. -№3. -С. 83 -85.
16. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Rychkov D.A. Automation Tool Preparation in the Conditions of Production//Applied mechanics and materials. 2015. № 770. P. 739-743.

References

1. Kerber M.L. et al. Polymer composite materials: structure, properties, technology / textbook. allowance under the editorship of A.A. Berlin - 3rd rev. ed. - St. Petersburg: Profession, 2011. -- 560 p., Ill.
2. Markov A.M. Technological features machining of composite materials // Science intensive technologies in mechanical engineering. 2014. No. 7 (37). P. 3-8.
3. Mordvin M.A., Yakimov S.V., Baklushin S.M. Recommendations for the machining of composite materials // Vestn. Izh. gos. tekhn. un-ta. 2010. No. 2. P. 26-29.
4. Dots M.V., Markov A.M. Automation of turning design of composite materials // Innovations in mechanical engineering. Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference. Edited by V.Yu. Blumenstein. Kemerovo, 2011. Publisher: Kuzbass State Technical University. T.F. Gorbachev (Kemerovo). - S. 112-115.
5. Yaroslavtsev V.M. Technological solutions to the problems of processing rocket and aerospace structures from composite materials // Vestnik MGTU. Ser. Engineering. Specialist. issue "Composite materials, structures and technologies", 2005. - P. 41-62.
6. Rudykh O.L., Melamed E.Sh. Fundamentals of computer-aided design of building structures: Textbook. Part 2 Types of software CAD (software and hardware). - Khabarovsk: DVGUPS, 1998. -- 157 s
7. Vladimirova Yu.O. Development of heat-resistant and wear-resistant nanostructured materials based on copper powder for pistons of foundry equipment / Yu.O. Vladimirova, E.P. Shalunov, I.E. Illarionov // Innovative engineering technologies, equipment and materials: conf. - Kazan, 2018. -- S.23-27.
8. Vladimirova Yu.O. Development of heat and wear-resistant nanocomposite material based on copper powder and its manufacturing technology for pistons of injection molding machines // Yu.O. Vladimirova, E.P. Shalunov // New materials and promising technologies: scientific. Forum - Moscow, 2018. - P.106-110.
9. Kataeva S.A., Markov A.M., Cherdantsev P.O., Gaist S.V., Lapenkov E.Yu. Designs of mills for processing glass-plastics // Actual problems in mechanical engineering. 2016. No. 3. P. 307-312.
10. Makarov V.F., Meshkas A.E., Shirinkin V.V. Investigation of the processes of machining parts of aerospace engineering from new composite materials // New materials and technologies in mechanical engineering. - 2015. - Issue. 22. S. 14-22.
11. Meshkas A.E., Makarov V.F., Shirinkin V.V. Technologies to improve the processing efficiency of composite materials by milling // Bulletin of Tula State University. Technical science. 2016. No. 8-2. S. 291 - 299.

12. A.F. Rezchikov, A.V. Kochetkov, and O.V. Zakharov. Mathematical models for estimating the degree of influence of major factors on performance and accuracy of coordinate measuring machines. // MATEC Web Conf. 2017. Vol. 129. Pp. 01054.
13. Lobanov, D. V. An automated system for creating databases and multicriteria comparative analysis of prefabricated milling tool designs for processing composite materials [Text] / D. V. Lobanov, A. S. Yanyushkin, D. A. Rychkov // CAD and graphics. 2011. - No. 3. - S. 71-73.
14. Rychkov, D.A. Criterion evaluation of the design of a cutting tool by the example of a precast cutter for processing composite materials / D.A. Rychkov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov: Chief mechanic. 2011. -№ 5. -С. 48-54.
15. Yanyushkin, A.S. Comparative analysis of the design of the milling tool for processing composite materials / A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, D.A. Rychkov: Systems. Methods Technology: -2009. -No. 3. -FROM. 83 -85.
16. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Rychkov D.A. Automation Tool Preparation in the Conditions of Production // Applied mechanics and materials. 2015. No. 770. P. 739-743.

УДК (621.77)

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕРПОВИДНОСТИ РАСКАТОВ В УСЛОВИЯХ ТОЛСТОЛИСТОВЫХ СТАНОВ

А. С. Макаганюк¹, П. Н. Денищенко²

¹ аспирант каф. ОМД и М, Алчевск, 94201, ЛНР, alexander_jes@mail.ru

² доц. каф. ОМД и М, Алчевск, 94201, ЛНР, omdim.dstu@gmail.com

Аннотация

Плоскостность является одним из важнейших показателей качества листового проката, прежде всего толстолистого. Улучшения рассматриваемого показателя обеспечивает более высокий уровень технологических и потребительских свойств, что способствует качеству и конкурентоспособности исследуемого вида металлопродукции. Работа посвящена разработке математической модели серповидности раската при толстолистовой прокатке с учетом уширения в четырехвалковой клет. Представлена методика количественной оценки эффекта самовыравнивания вытяжек по ширине раската при толстолистовой прокатке с учетом поперечного перемещения металла в очаге пластической деформации. Для продольной прокатки использовали двузонный очаг деформации: зона отставания и зона опережения. Так же были рассчитаны скорости металла на выходе из валков прокатной клетки. Проведена оценка влияния поперечной разнотолщинности на значения скорости металла на выходе из валков прокатной клетки. В работе представлены расчеты серповидности чистовой клетки толстолистого стана по представленной математической модели на конкретном примере. В результате получили данные, которые доказывают, что при поперечном перемещении металла в очаге пластической деформации неравномерность вытяжек уменьшается на 87,5%, этот эффект позитивно сказывается на серповидности раската.

Ключевые слова: толстолистовая прокатка, четырехвалковая клет, серповидность, самовыравнивание вытяжек по ширине раската, уширение.

THE DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL OF CRESCENT ROLLS IN CONDITIONS OF PLATE MILLS

A. S. Makaganyuk¹, P. N. Denishchenko²

¹ postgraduate student, department of metal forming and metal science, Alchevsk, 94201, LPR, alexander_jes@mail.ru

² PhD in Engineering sciences, department of metal forming and metal science, 94201, LPR, omdim.dstu@gmail.com

Abstract

Flatness is one of the most important indicators of the quality of sheet metal, especially thick-sheet. Improvements of this indicator provides a higher level of technological and consumer properties, which contributes to the quality and competitiveness of the studied type of metal products. The work is devoted to the development of a mathematical model of crescent rolls during plate rolling taking into account broadening in a four-roll stand. A technique is presented for quantitatively evaluating the effect of self-alignment of hoods along the width of a roll during plate rolling, taking into

account the transverse movement of metal in the center of plastic deformation. For longitudinal rolling, a two-zone deformation zone was used the lag zone and the lead zone. The metal velocities at the exit from the rolling mill rolls were also calculated. The influence of the transverse thickness variation on the velocity of the metal at the exit from the rolls of the rolling stand is evaluated. The paper presents the calculations of the crescent shape of the finishing stand of a plate mill according to the presented mathematical model using a specific example. As a result, we obtained data that prove that with transverse movement of metal in the center of plastic deformation, the non-uniformity of the hoods decreases by 87.5%, this effect positively affects the crescent of the roll.

Keywords: plate rolling, four-roll stand, sickle shape, self-alignment of hoods along the width of the roll, broadening.

1. Введение

На современном этапе развития прокатного производства основной тенденцией следует считать освоение и внедрение в производство принципиально новой техники и технологий, обеспечивающих наряду с увеличением объема производства — повышение прямолинейности листовой стали.

Наиболее актуальна проблема получения прямолинейной формы при прокатке листов на станах горячей прокатки. Однако, несмотря на имеющиеся успехи в области улучшения прямолинейности прокатываемых листов, некоторые принципиально важные вопросы остаются малоизученными. Например, не до конца выясненным является механизм нарушения прямолинейности раската при прокатке с уширением.

Выдриным В.Н. показано [1-3], что неравномерность вытяжки и обжатия по ширине полосы дают правильное представление о процессе нарушения плоскостности лишь в частных случаях, о дефектах неплоскостности полосы правильно судить не по характеру распределения вытяжки, а по характеру распределения скоростей течения металла по ширине полосы в плоскостях входа и выхода очага деформации. Поведение полосы при выходе из валков полностью определяется процессом деформации только в зоне опережения, а при входе в валки — процессами деформации только в зоне отставания.

Железновым Ю.Д., Григоряном Г.Г. и др., было замечено, что неравномерность вытяжек раската после прокатки оказывается меньше рассчитанной в предположении плоской схемы деформации. Это явление вызвано механизмами самовыравнивания, один из которых связан с поперечными перемещениями металла в очаге пластической деформации. Имеется достаточное количество экспериментальных подтверждений его эффективности. На возможность поперечных перемещений при листовой прокатке указывается в работах [4-9].

При толстолистовой прокатке особое влияние на серповидность раската оказывает поперечная разнотолщинность, которая приводит к

неравномерному распределению скоростей течения металла при выходе из валков. Поперечное течение металла в очаге пластической деформации уменьшают неравномерность коэффициентов удлинения и продольных напряжений по ширине прокатываемых полос на выходе из очага пластической деформации [10].

В связи с этим целью настоящей работы является разработка математической модели серповидности раската на основе неравномерного распределения выходных скоростей металла с учетом поперечного течения металла в очаге пластической деформации.

Объект исследования — технологический процесс прокатки толстолистовой стали с неравномерной толщиной на входе в валки четырехвалковой клетки.

Предмет исследования — очаг пластической деформации металла неравномерной толщины на входе в валки и неравномерным распределением продольного и поперечного течения металла.

Задачи исследования:

- оценка влияния входной поперечной разнотолщинности на выходное распределение скоростей металла;
- определение влияния уменьшения неравномерности коэффициентов вытяжки по ширине прокатываемого раската за счет поперечного течения металла;
- определение величины серповидности раската при прокатке металла неравномерной толщины.

2. Изложение материала и его результаты

Подкат шириной $2B$, профиль поперечного сечения которого состоит из двух областей A и B , имеющих толщины h_{0A} , h_{0B} , входит в очаг пластической деформации со скоростью v_0 , и на выходе из очага деформации прокатанная полоса имеет одинаковую толщину h_1 .

Если бы прокатка осуществлялась по схеме плоской деформации, то вытяжка и выходная скорость областей металла в областях A , B определялась следующими соотношениями:

$$\lambda_A = \frac{h_{0A}}{h_1}; v_{x1} = v_0 \frac{h_{0A}}{h_1};$$

$$\lambda_B = \frac{h_{0B}}{h_1}; v_{x2} = v_0 \frac{h_{0B}}{h_1};$$

Границы областей A, B при этом определяются плоскостями, параллельными боковым кромкам полосы и проходящими через отрезки прямых aa (рис. 1).

Поперечное перемещение металла со скоростью v_y в очаге деформации на величину S изменяет границы областей, и области A, B переходят в области A', B' , причем плоскости, их разделяющие, проходят через отрезки прямых $a'a'$ (рис. 2).

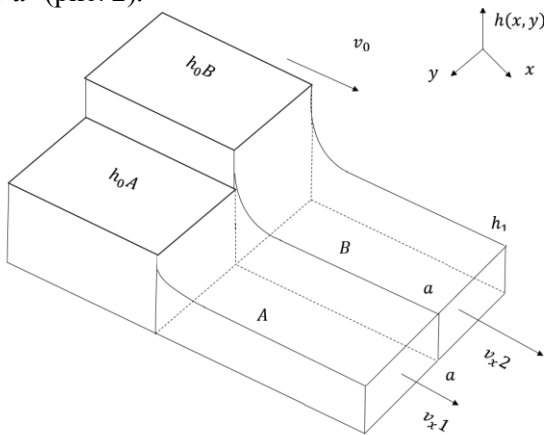


Рис. 1. Распределение скоростей течения металла при отсутствии уширения.

При наличии поперечного перемещения металла в очаге деформации продольная скорость металла в области A v_{x1} увеличивается, а области B v_{x2} — уменьшается по отношению к скоростям в случае плоской схемы деформации:

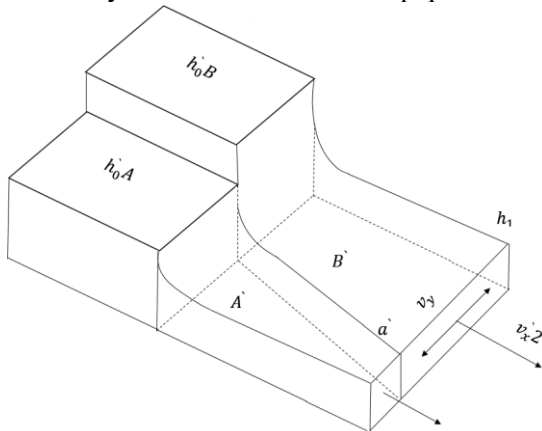


Рис. 2. Распределение скоростей течения металла при наличии поперечного течения металла

На рис. 3 распределение скоростей металла по ширине полосы в случае плоской схемы деформации показано ломаной штрихпунктирной линией с амплитудой $\Delta v_x = A$. Распределение продольных скоростей металла по ширине полосы при наличии поперечного перемещения металла в очаге деформации показано сплошной линией с амплитудой $\Delta v'_x = A'$ при этом коэффициенты вытяжки металла в соответствующих областях, вычисляемые как отношение входной и выходной толщин, остаются неизменными.

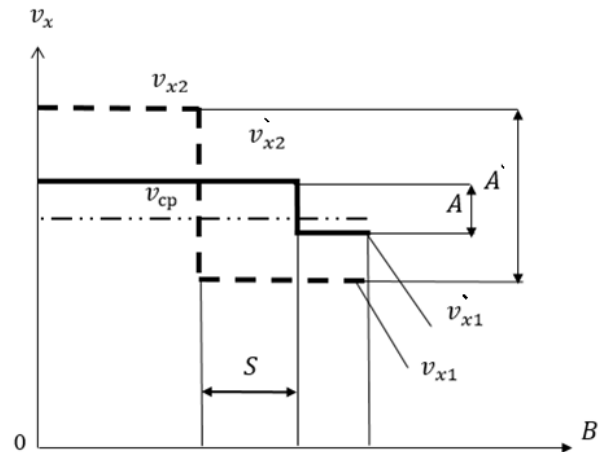


Рис. 3. Распределение скоростей течения металла и вытяжек при наличии поперечного течения металла

При наличии поперечного перемещения металла в очаге деформации продольная скорость металла в области A v_{x1} — увеличивается, а области B v_{x2} — уменьшается по отношению к скоростям в случае плоской схемы деформации.

Влияние поперечных перемещений металла в очаге деформации на уменьшение неравномерности вытяжек по ширине полосы учитывается коэффициентом ρ , согласно формуле (1):

$$\frac{\Delta \lambda_{(y)}}{\lambda} = \rho \left[\frac{\delta h_0(y)}{h_0} - \frac{\delta h_1(y)}{h_1} \right] \quad (1)$$

где: $\Delta \lambda_{(y)}$ и λ — величина текущей неравномерности вытяжек и величина средней вытяжки по ширине полосы, $\delta h_0(y)$ и h_0 — величина текущей поперечной разнотолщинности и величина средней толщины подката, мм. $\delta h_1(y)$ и h_1 — величина текущей поперечной разнотолщинности и величина средней толщины по-

лосы, мм. $\rho = \frac{A'}{A}$ — коэффициент, учитываю-

щий влияние поперечного перемещения металла в очаге пластической деформации, $0 < \rho < 1$; при плоской схеме деформации $\rho = 1$ [11].

где: A — амплитуда входной неравномерности скоростей металла и рассчитывается согласно формуле (2).

$$A = \cos \varphi \left(1 + \beta - \beta \frac{x_n}{l} \right) \left[a + \varepsilon \left(\frac{x_n}{l} \right)^2 \right] \quad (2)$$

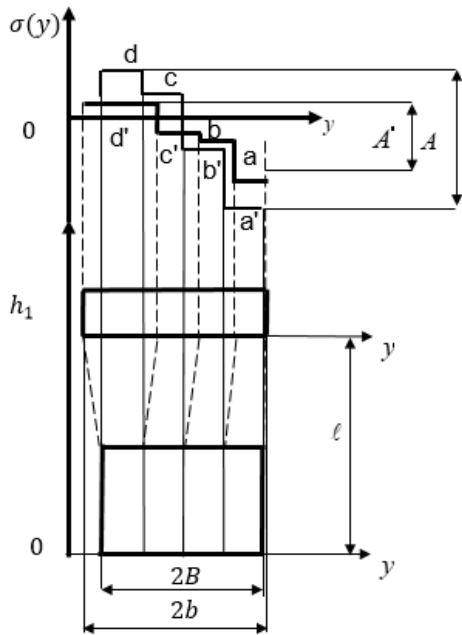


Рис. 4. Механизм уменьшения неравномерности остаточных напряжений при прокатке с уширением

Для уточнения описания процесса уширения в очаге пластической деформации воспользуемся расчетной схемой, приведенной на рис. 4. Очаг пластической деформации разбит на две области — зону опережения и зону отставания [11]. Форма кромки (штриховая линия) аппроксимирована двумя отрезками прямых — для зоны отставания и зоны опережения, пример приведен на рис. 5, 6. Тогда уравнения, описывающие форму боковых кромок полосы в очаге пластической деформации, запишутся следующим образом:

а) для зоны опережения $0 \leq x \leq x_n$:

$$B_{on}(x) = B_0 \left[1 + \beta + (\beta_t - \beta) \frac{x}{x_n} \right];$$

б) для зоны отставания $x_n \leq x \leq l$:

$$B_{om}(x) = B_0 \left[1 + \frac{\beta_t}{1 - t_n} - \frac{\beta_t}{1 - t_n} \frac{x}{l} \right];$$

где: $\beta = \frac{\Delta B}{B_0}$, $\beta_t = \frac{\Delta B_t}{B_0}$, $\Delta B = B_1 - B_0$, мм

$$\Delta B_t = B_n - B_0, \text{ мм}, t_n = \frac{x_n}{l}.$$

Входную неравномерность скоростей опишем функцией $f'(y)|_{x=\ell} \ll 1$, а выходную — $\varphi'(y)|_{x=0} \ll 1$, причем $f'(x, y)$ и $\varphi'(x, y)$ — самоуравновешенные функции, т.е. $\int_0^{B_0} f'(x, y) dy = 0$,

$$\int_0^{B_1} \varphi'(y) dy = 0.$$

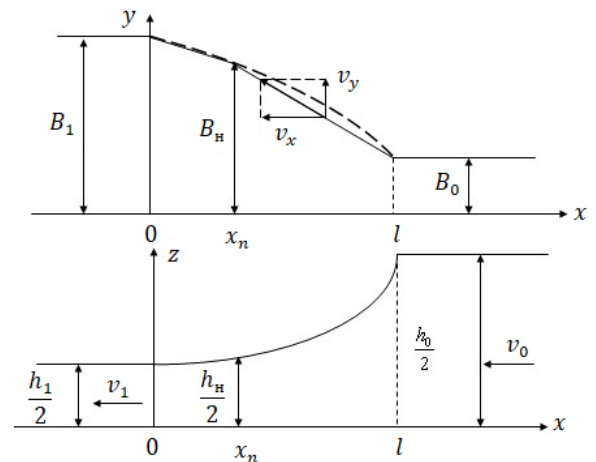


Рис. 5. Расчетная схема для определения уширения

V_0, V_1, V_x, V_y — входная и выходная скорости полосы и проекции скорости течения металла боковой кромки на оси X, Y соответственно, мм/с;

$h_0, h_n, h_1, B_0, B_n, B_1$ — толщина и полуширина полосы на входе, в нейтральном сечении и на выходе соответственно, мм;

ℓ, x_n — длина очага деформации и зоны опережения, мм.

Функцию неравномерности распределения входных скоростей металла зададим следующим образом:

$$f'(x, y) = A \cos \left[k\pi \frac{y}{B(x)} \right]$$

где: $B(x)$ — текущая ширина полосы в очаге деформации, мм, k — целое число, принимающее значения $1, n$.

Назовем отношение амплитуды неравномерности выходных скоростей металла в полосе, прокатанной с уширением, к амплитуде выходных скоростей металла в той же полосе, но прокатанной без уширения, коэффициентом ρ_B

. Заметим, что при $\Delta B = 0$ задача становится плоской и ρ_B становится равным единице. Функция неравномерности распределения выходных скоростей металла:

$$\varphi'(x, y) = A\rho_B \cos\left[k\pi \frac{y}{B(x)}\right]$$

где: $0 < \rho_B < 1$ — коэффициент, учитывающий влияние поперечного перемещения металла в очаге пластической деформации.

Для очага деформации будем предполагать модель жесткопластических сред с упругими внешними зонами, то есть считаем, что металл, не обладающий эластичностью в деформационном очаге, сразу же приобретает его на выходе из деформационного очага. Применяя принцип вариации Журдена к такой определенной деформации, получаем уравнение (3) аналогичное [11], но без учета натяжений при прокатке

$$\delta\left(\iint_{\Omega} \Pi_v d\Omega - \iint_S \bar{v} ds + \sum_{i=1}^n \iint_{S_i} \tau_s |\Delta v_i| ds\right) = 0 \quad (3)$$

где: $\Pi_v = \int_0^H T dH$ — скоростной потенциал;

T и H — интенсивности касательных напряжений и скоростей сдвиговых деформаций, МПа;

τ_s — предел текучести на сдвиг, МПа;

Δv_i — скачок скоростей на i -ой поверхности среза S_i , мм/с;

δ — символ варьирования.

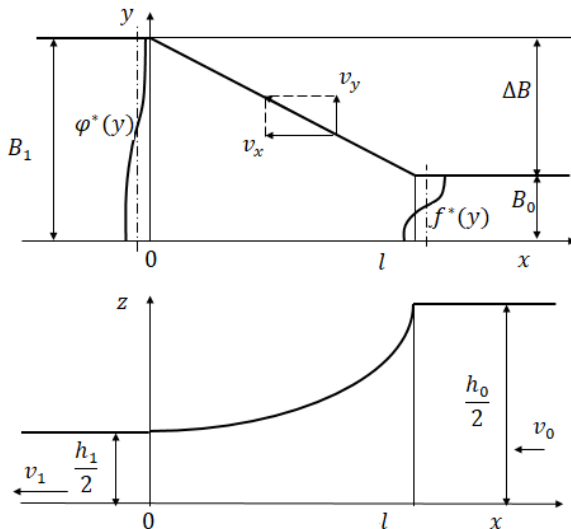


Рис. 6. Расчетная схема распределения скоростей с учетом уширения

Рассмотрим выражения для скоростей течения металла в очаге деформации с учетом уширения:

$$v_x = v_{0x} \left[1 + f \frac{h_x - h_1}{\Delta h} \frac{B_0}{B_1} + \varphi \frac{h_0 - h_x}{\Delta h} \frac{B_1}{B_x} \right] \quad (4)$$

Расчетная схема для расчета серповидности, основанная на разности выходных скоростей из очага пластической деформации представлена на рис. 7. Расчеты производились согласно формуле (4).

Определить радиус поворота поперечного сечения раската можно посчитать по формуле (5).

$$r = \frac{b_1}{\frac{\mu_{aa}}{\mu_{bb}} - 1} \quad (5)$$

где: h_x, B_x — толщина и ширина металла в нейтральном сечении, мм;

μ_{aa}, μ_{bb} — коэффициенты вытяжек с учетом неравномерности выходных скоростей.

$$\mu_{aa} = \frac{h_0 V_{cp}}{h_1 V_{aa}}$$

где: V_{cp}, V_{aa} — средняя скорость по ширине раската и скорость на выходе из валков, мм/с.

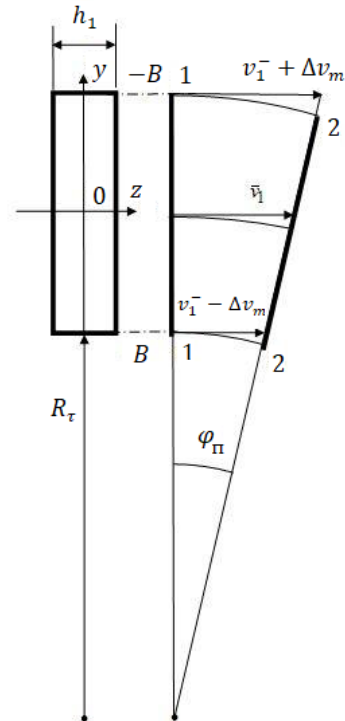


Рис. 7. Схема процесса образования серповидности раската

Полученная математическая модель была реализована на ЭВМ в среде Microsoft Excel. При помощи разработанной модели выполнены

расчеты величин серповидности раскатов при прокатке на толстолистовом стане 3000 филиала №12 ЗАО «ВТС». ТЛС 3000 состоит из двух реверсивных четырехвалковых клетей — черновой и чистовой. Диаметр рабочих валков чистовой клетки — 900 мм, длина бочки — 3000 мм. Определили серповидность раската после первого прохода в чистовой клетке из подката толщиной 50 мм, шириной — 2220 мм, длиной — 5218 мм из стали 09Г2С, переданного после прокатки в черновой клетке. Исходная поперечная разнотолщинность подката составила 0,3 мм (назовем это сечение *aa*). На рис. 8 и 9 приведены расчетные схемы для определения скоростей выхода металла из очага деформации и величины серповидности раската. Расчет величины серповидности раската выполнен исходя из условия, что сечение раската на входе в очаг деформации имеет разные толщины левой и правой кромок, а на выходе из валков толщина раската одинаковая по всей ширине. Расчетные данные представлены в таблицах 1-4.

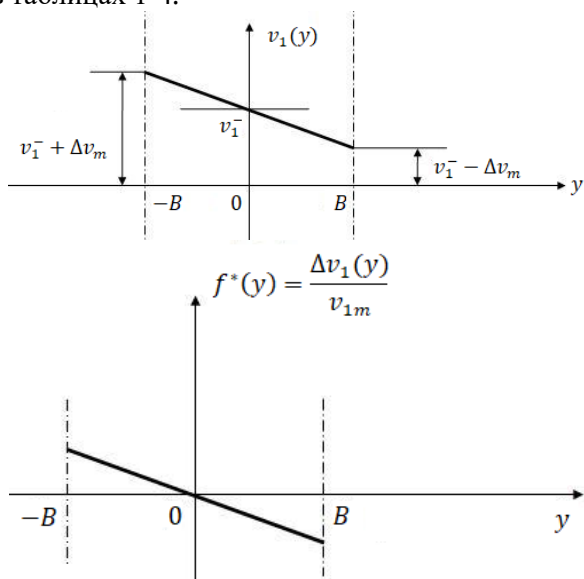


Рис. 8. Расчетная схема для определения скоростей выхода металла из очага деформации

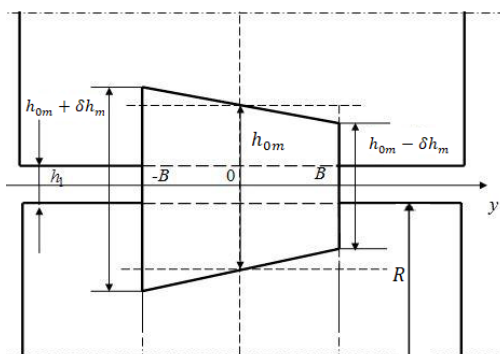


Рис. 9. Расчетная схема для определения величины серповидности раската

Таблица 1. Режим обжатий в сечении *aa*

№ прох.	Δh , мм	H, мм	B, мм	Δb , мм	V, м/с	μ
0	---	50,3	2220	---	---	---
1	9,3	41	2222	2	1,2	1,23

Таблица 2. Режим обжатий в сечении *bb*

№ прох.	Δh , мм	H, мм	B, мм	Δb , мм	V, м/с	μ
0	---	50	2220	---	---	---
1	9	41	2222	2	1,2	1,22

Таблица 3. Сводная таблица результатов расчета параметров серповидности раската

№	V(aa), мм/с	V(bb), мм/с	V(cp), мм/с	L(aa), мм	L(bb), мм	ϕ , град
1	1868	1885	1877	6399	6391	0,20

Таблица 4. Сводная таблица результатов расчета параметров без учета поперечного перемещения металла

№ прох	$\Delta h(aa)$, мм	$\Delta h(bb)$, мм	B, мм	L(aa), мм	L(bb), мм
1	9,3	9	2220	6427	6363

Таким образом, результаты расчета показали работоспособность модели по определению величины серповидности раската при толстолистовой прокатке. Для подтверждения адекватности модели необходимо проведение экспериментальных исследований.

3. Выводы и направление дальнейших исследований

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Получена работоспособная математическая модель серповидности раската при толстолистовой прокатке учитывающая неравномерное распределение выходных скоростей и поперечное течение металла в очаге пластической деформации.

2. Разработана методика количественной оценки эффекта самовыравнивания вытяжек по ширине раската при толстолистовой прокатке, учитывающая уширение. Расчет показал, что наличие абсолютного уширения 2 мм сокращает разность вытяжек на 87,5%, что позитивно сказывается на уменьшении серповидности.

Дальнейшие исследования будут направлены на подтверждение адекватности разработанной модели и разработку методики прогноза серповидности с учетом температурного градиента по ширине раската.

Список литературы

1. Выдрин, В. Н. Об основах планшетности полосы [Текст] / В. Н. Выдрин // Теория и технология прокатки: сб. науч. тр. — Челябинск, 1972. — Вып. 102. — С. 208–219.
2. Выдрин, В. Н. Постановка задачи по исследованию условия получения планшетных листов при холодной прокатке [Текст] / В. Н. Выдрин, Н. В. Судаков, Е. А. Остсемин // Теория и технология прокатки: сб. науч. тр. — Челябинск, 1978. — Вып. 209. — С. 23–30.
3. Выдрин, В. Н. Теоретическое и экспериментальное исследование условий получения планшетных листов при несимметричной и симметричной прокатке [Текст] / В. Н. Выдрин, Н. В. Судаков, Е. А. Остсемин // Теоретические проблемы прокатного производства: тезисы докл. и сообщений III всесоюзной науч.-техн. конф. — Днепропетровск, 1980. — С. 184.
4. Железнов, Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос [Текст] / Ю. Д. Железнов. — М.: Metallurgy, 1971. — 200 с.
5. O'Connor H. W. Shape Flatness in Thin Strip Rolling // ASME Paper. — 1971. — Vol. 13. — P. 9–13.
6. Bernsmann, G. P. Lateral Material Flow During Cold Rolling of Strip // Iron and steel Engineer. — 1972. — Vol. 49. — P. 67–71.
7. Григорян, Г. Г. Настройка, стабилизация и контроль процесса тонколистовой прокатки [Текст] / Г. Г. Григорян, Ю. Д. Железнов, Черный В. А. и др. — М.: Metallurgy, 1975. — 368 с.
8. Железнов, Ю. Д. Исследование точной тонколистовой прокатки [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Ю. Д. Железнов. — Москва. — 1971. — 267 с.
9. Бельский, С. М. Расчёт распределения усилия прокатки по ширине полосы и остаточных напряжений в полосе вариационным методом [Текст] / С. М. Бельский, С. Л. Коцарь, Б. А. Поляков // Изв. вузов. Черная металлургия. — 1990. — № 10. — С. 32–34.
10. Sergey M. Belskiy, Igor P. Mazur. Mathematical Model of hot-rolled Strip's Camber Formation / Sergey M. Belskiy, Igor P. Mazur // 8th International Conference on Physical and Numerical Simulation of Materials Processing. — Lipetsk State Technical University, 2016. — P. 5–7.
11. Бельский, С. М. Совершенствование технологий формообразования полос и листов на основе развития теории симметричной и асимметричной горячей прокатки [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / С. М. Бельский. — Липецк. — 2009. — 368 с.

References

1. Vydrin, V. N. *About the basics of flatness of the strip* [Text] / V. N. Vydrin // Theory and technology of rolling: collection. scientific tr - Chelyabinsk, 1972. - Issue. 102. - S. 208–219.
2. Vydrin, V. N. *Statement of the problem of studying the conditions for obtaining flat sheets during cold rolling* [Text] / V. N. Vydrin, N. V. Sudakov, E. A. Ostsemin // Theory and technology of rolling: collection. scientific tr - Chelyabinsk, 1978. - Issue. 209. - S. 23–30.
3. Vydrin, V. N. *Theoretical and experimental study of the conditions for producing flat sheets for asymmetric and symmetrical rolling* [Text] / V. N. Vydrin, N. V. Sudakov, E. A. Ostsemin // Theoretical problems of rolling production: theses doc. and communications of the III All-Union scientific and technical. conf. - Dnepropetrovsk, 1980. - S. 184.
4. Zheleznov, Yu. D. *Rolling flat sheets and stripes* [Text] / Yu. D. Zheleznov. - M.: Metallurgy, 1971. - 200 p.
5. O'Connor H. W. *Shape Flatness in Thin Strip Rolling* // ASME Paper. - 1971. - Vol. 13. - P. 9–13.
6. Bernsmann, G. P. *Lateral Material Flow During Cold Rolling of Strip* // Iron and steel Engineer. - 1972. - Vol. 49. - P. 67–71.
7. Grigoryan, G. G. *Adjustment, stabilization and control of the process of sheet rolling* [Text] / G. G. Grigoryan, Yu. D. Zheleznov, Cherny V. A. et al. - M.: Metallurgy, 1975. — 368 p.
8. Zheleznov, Yu. D. *The study of precision sheet rolling* [Text]: author. dis. ... doc. tech. Sciences / Yu. D. Zheleznov. - Moscow. - 1971. — 267 p.
9. Belsky, S. M. *Calculation of the distribution of rolling force over the width of the strip and residual stresses in the strip by the variational method* [Text] / S. M. Belsky, S. L. Kotsar, B. A. Polyakov // Izv. universities. Ferrous metallurgy. - 1990. - No. 10. - C. 32–34.
10. Sergey M. Belskiy, Igor P. Mazur. *Mathematical Model of hot-rolled Strip's Camber Formation* / Sergey M. Belskiy, Igor P. Mazur // 8th International Conference on Physical and Numerical Simulation of Materials Processing. - Lipetsk State Technical University, 2016. - R. 5–7.
11. Belsky, S. M. *Improving the technology of forming strips and sheets based on the development of the theory of symmetric and asymmetric hot rolling* [Text]: author. dis. ... doc. tech. Sciences / S. M. Belsky. - Lipetsk. - 2009. — 368 p.

ГИБРИДНАЯ КОМПОНОВКА РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО СТАНКА ДЛЯ ГИБКОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.С. Часовитина¹ студент, А. О. Харченко² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: nastya.chasovitina@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: khao@list.ru

Аннотация

В статье приведены результаты теоретических исследований на основе методологии анализа и синтеза структур современных станков. Рассмотрены основные требования к современному оборудованию, одним из которых является гибкость, а также сформирован перечень вспомогательных задач автоматизации. Для синтеза гибридной конструкции резьбонарезного станка на основе комбинированного МПС был использован метод морфологического анализа, являющийся примером системного подхода к решению задач проектирования. В работе представлены этапы создания морфологической матрицы с последующим выбором наиболее рационального варианта компоновки резьбонарезного оборудования. За счет выявления наиболее оптимальной структуры был получен вариант комбинированного МПС с возможностью одновременного изменения длины штанг и координат опорных шарниров – дельта-глайд-под, обеспечивающий выполнение значительного количества технологических методов на одном рабочем месте за одну установку детали. Описан принцип работы полученного гибридного резьбонарезного станка с комбинированным МПС модульной конструкции, в которой исполнительный орган может совершать сложное пространственное движение. В качестве исполнительного органа предложен вариант малогабаритной конструкции резьбонарезной головки повышенной надежности с возможностью автоматического регулирования шага резьбы. Устройство такого типа автоматизирует переналадку на необходимые режимы обработки и может быть использовано в станках с МПС в условиях гибких производственных систем.

Ключевые слова: гибридная компоновка, механизмы параллельных структур (МПС), резьбонарезной станок, морфологический анализ, резьбонарезная головка, технологические методы, обработка, модульная конструкция.

A HYBRID CONFIGURATION OF THE THREAD-CUTTING MACHINE FOR FLEXIBLE AUTOMATED MANUFACTURING

A.S. Chasovitina¹ student, A.O. Kharchenko² cand. sc. tech.

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: nastya.chasovitina@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: khao@list.ru

Abstract

The article presents the results of theoretical research based on the methodology of analysis and synthesis of structures of modern machines. The main requirements for modern equipment, one of which is flexibility, are considered, and a list of auxiliary automation tasks is formed. The method of morphological analysis was used to synthesize a hybrid design of a thread-cutting machine based on a combined MPS, which is an example of a systematic approach to solving design problems. The paper presents the stages of creating a morphological matrix with the subsequent selection of the most rational layout of thread-cutting equipment. Due to the identification of the most optimal structure, a variant of the combined MPS was obtained with the possibility of changing the length of the rods and the coordinates of the support hinge s- Delta-glide-pod simultaneously, which ensures the implementation of a significant number of technological methods at one workplace for one installation of the part. The principle of operation of the resulting hybrid thread-cutting machine with a combined MPS of a modular design, in which the executive body can perform complex spatial movement, is described. As an executive body, a variant of the small-sized design of the thread-cutting head with increased reliability with the possibility of automatic adjustment of the thread pitch is proposed. This type of device automates the changeover to the required processing modes and can be used in machines with MPS in flexible production systems.

Keywords: hybrid configuration, mechanisms of parallel structures (MPS), thread cutting machine, morphological analysis, thread cutting head, technological methods, processing, modular design.

1. Введение

Решение задачи повышения производительности труда и улучшения качества машиностроительной продукции при минимальных затратах связано с постоянным развитием и расширением возможностей технических систем (ТС) современных станков. При проектировании нового объекта используются как новые, так и известные технические решения.

На сегодня перспективной тенденцией развития станков является оснащение кинематических цепей каждого из формообразующих движений собственным приводом (шаговые электродвигатели, цифровые пневмо- или гидродвигатели), а также расширение технологических возможностей оборудования с механизмами параллельных структур (МПС) благодаря использованию модульного принципа построения компоновок.

В научно-технических источниках приводится значительное количество работ, посвященных исследованиям, конструктивному усовершенствованию, выбору оптимальных геометрических параметров структур станков на основе МПС. Приводятся результаты исследований показателей статической и динамической точности такого оборудования, виброустойчивости технологических систем различного назначения, однако проблема создания резьбо-нарезного станочного оборудования повышенной точности на основе МПС до настоящего времени не рассматривалась и недостаточно изучена.

Учитывая вышесказанное, задача создания резьбо-нарезного станка с МПС для высокопроизводительного получения точных мелко-размерных внутренних резьб на основе методологии анализа и синтеза его структурных вариантов является весьма актуальной.

2. Основная часть

Непрерывное развитие мировой экономики и рост конкурентоспособности в машиностроении обуславливают усовершенствование средств и методов производства станочного оборудования. Это позволяет обеспечивать высокое качество продукции на уровне передовых фирм-производителей. Современное производство должно соответствовать следующим требованиям: быстропереналаживаемость, многономенклатурность и гибкость технологических систем. Процентное соотношение количества выпущенного оборудования такого рода в разных странах показано на рис. 1.

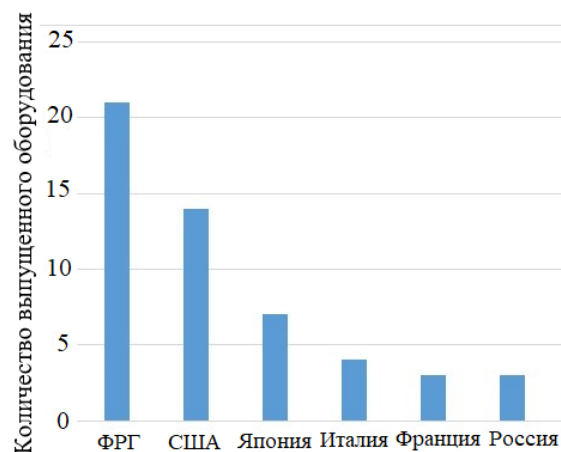


Рис. 1. Процентное соотношение количества выпущенного оборудования с МПС в разных странах

Создание гибких технологических систем невозможно без автоматизации производства в целом. Сам же процесс автоматизации является сложным и многоуровневым и представляет комплекс мер, направленных на увеличение производительности для получения положительного экономического эффекта. Список задач автоматизации постоянно расширяется в процессе производства, так как возникают новые требования: коррекция погрешностей установления заготовок; обеспечение требуемой точности позиционирования исполнительного органа с инструментом; адаптивность системы управления режимами функционирования процесса; определение момента срабатывания соответствующего инструмента, а также выявление его текущего состояния; контроль качества процесса обработки; диагностика текущего состояния всех элементов технологической системы. Для выполнения вышеописанных задач необходимо использовать соответствующее информационное обеспечение.

Наличие многократного переоборудования деталей, большого количества транспортных межоперационных процессов отвечает исторически сложившимся традициям классификации оборудования по виду осуществляемой обработки, но не современным требованиям к станочным комплексам. Использование новых технологий возможно только при применении технологического оборудования с большой концентрацией возможных операций. Такое оборудование обеспечивает выполнение значительного количества технологических методов на одном рабочем месте за одну установку детали. Часто узлы станочного оборудования

имеют конкретное единственное функциональное назначение, поэтому конструкции станков такого типа для осуществления различных технологических приемов будут обладать либо значительными массогабаритными показателями, либо сложной структурой с меньшей надежностью.

Для поиска рациональных технических решений при синтезе новых технологических систем и компоновок резбонарезного станка целесообразно использовать метод морфологического анализа, который направлен на последовательный перебор всех возможных вариантов и является примером системного подхода к решению творческих задач.

Сущность метода МА состоит в том, что в совершенствуемой ТС выделяют несколько характерных для нее структурных морфологических признаков, по каждому из которых составляют список различных конкретных вариантов (альтернатив) технического выражения. Каждый признак может характеризовать какой-либо конструктивный узел системы, какую-то ее функцию, режим работы системы, форму взаимодействия узлов, т.е. параметры системы, от которых зависит решение проблемы. Признаки с их альтернативами можно располагать в форме таблицы, называемой морфологической матрицей, что позволяет лучше представить поисковое поле. Согласно принципам компоновки, резбонарезной станок разделяется на взаимосвязанные подсистемы и элементы (таблица 1).

Таблица 1. Морфологическая матрица системы резбонарезного станка с МПС

Название подсистемы	Вид/свойство
Модуль главного движения (X)	X1–Пневматический
	X2– Гидравлический
	X3–Электрический
	X4–Комбинированный
Модуль блока несущего элемента (Y)	Y1–Поворотный
	Y2–Стационарный
Модуль длины штанг (Z)	Z1–Изменяющаяся длина штанг
	Z2–Постоянная длина
Модуль изменения координат опорных шарниров (V)	V1–Есть
	V2–Отсутствует
Модуль направляющих (R)	R1–Есть
	R2–Отсутствует

Область применения метода – решение технических задач, относящихся к объекту в

целом при наличии полной информации об объекте и заключающихся в усовершенствовании объекта. Наиболее целесообразная область применения метода МА – решение конструкторских задач общего плана (проектирование комплексов, станков, их узлов и механизмов, поиск технологических принципов, схем, способов формообразования и т.д.) [2].

После заполнения морфологической матрицы для системы резбонарезного станка с МПС выполняется синтез вариантов его структуры. Методика поиска оптимальных решений состоит в выделении наиболее приемлемых модулей и их признаков (вид, свойство) для создания новой системы. Выделенные модули обеспечивают правильное функционирование системы, но имеют различные характеристики (надежность, стоимость, массу и габаритные показатели).

На основе структурно-компоновочного синтеза выявлен наиболее рациональный вариант резбонарезного станка с комбинированным МПС с возможностью одновременного изменения длины штанг и координат опорных шарниров – дельта (кватро) -глайд-под (комбинация дельта (кватро)-глайда и дельта-пода) (рис. 2).

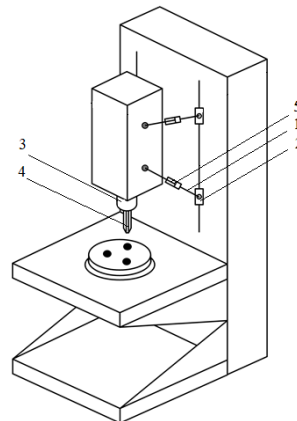


Рис. 2. Компоновка резбонарезного станка с комбинированным МПС

При изменении длин кинематических звеньев – штанг 1 и координат опорных шарниров 2 инструмент (метчик), размещенный в шпинделе 3 резбонарезной головки 4, может занимать различные вертикальные и угловые положения, совмещаясь с осью обрабатываемого отверстия, в зависимости от конфигурации детали. Каждое кинематическое звено механизма, выполненное в виде штанги переменной длины 1 имеет привод поступательного действия 5 (гидро-, пневмопривод или шаговый электропривод).

Гибридная компоновка резбонарезного станка с комбинированным МПС сохраняет функции наиболее ответственных формообра-

зующих движений за резьбонарезной головкой (как в классическом варианте), а функции вспомогательных и установочных перемещений – за МПС. Особенностью операции внутренней резьбообработки является необходимость кроме главного (вращательного) движения метчику сообщать точную принудительную продольную подачу, равную шагу нарезаемой резьбы за каждый его оборот. Эту функцию успешно реализует новая резьбонарезная головка (рис. 3), которая содержит корпус 1, в котором закреплены полюса статора шагового двигателя 2 главного движения [3]. Шпиндель 3 установлен с возможностью вращения и осевого перемещения внутри шагового двигателя 2 и является его ротором. Гайка 4 шариковой винтовой пары является ротором шагового электродвигателя 5 подачи, а винт 6 шариковой винтовой пары установлен на нерабочем конце шпинделя 3 и связан с ним при помощи упругого элемента 7, например, полиуретановой втулки. На рабочем конце шпинделя 3 установлен инструмент 8 – метчик.

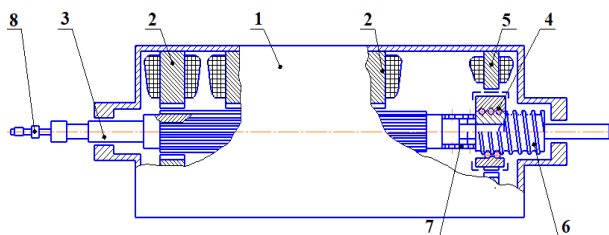


Рис. 3. Общий вид резьбонарезной головки

Блок-схема устройства управления (рис. 4) содержит задающий генератор 9, счетчики 10 и 11 количества импульсов, коммутаторы 12 и 13 для настройки величины подач и для настройки скорости главного движения соответственно, переключатель 14 реверса, логические схемы 15 и 16, схему 18 реверса, усилители 19-22 тока.

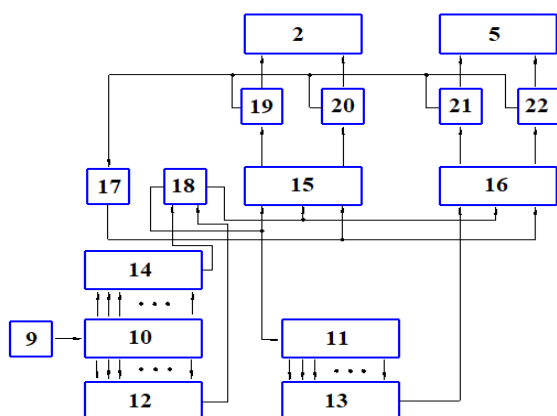


Рис. 4. Блок-схема управления формообразующими движениями резьбонарезной головки станка

Головка работает следующим образом. Предварительно с помощью коммутаторов 12 и 13 устанавливаются величина подачи (шаг нарезаемой резьбы) и скорость главного движения. С помощью схемы 17 разблокируются выходные усилители, на статор шаговых двигателей 2 и 5 подаются импульсы, обеспечивая вращение и согласованное с ним осевое перемещение шпинделя 3. Электродвигатель 5, сообщая вращение гайке 4, обеспечивает винту 6 осевое перемещение, равное шагу нарезаемой резьбы за один оборот шпинделя 3. Упругий элемент 7 обеспечивает сглаживание рывков, возникающих в процессе работы. По окончании обработки резьбы до заданной длины при помощи включения блока 18 реверса шпиндель 3 с инструментом 8 вывинчивается из обработанного отверстия, а скорость вывинчивания устанавливается с помощью переключателя 14 реверса. Таким образом, скорость вывинчивания в зависимости от условий обработки может быть выбрана в широком диапазоне.

3. Заключение

Проведенный анализ принципов создания нового технологического оборудования с МПС позволяет достичь многовариантности, низкой металлоемкости, модульности компоновок [4, 5]. Использование комбинированных устройств на основе сочетания признаков и преимуществ «глайда» и «пода» открывает возможности создания новых гибридных компоновок резьбонарезных станков с комбинированными МПС для выполнения задач качественной обработки деталей и существенного расширения технологических возможностей.

Резьбонарезная головка такого станка является малогабаритной конструкцией повышенной надежности за счет сокращения количества кинематических звеньев, позволяет производить автоматизированную переналадку режимов обработки и может быть использована в станках с МПС в условиях гибких производственных систем.

Список литературы

1. Кузнецов, Ю.Н. Компоновка станков с механизмами параллельной структуры: Монография / Ю.Н. Кузнецов, Д.А. Дмитриев, Г.Е. Диневи́ч. – Херсон: ЧП Вышемирский. – 2010. – 471 с.
2. Кузнецов, Ю.М. Технологічне обладнання с ЧПК: механізми і оснащення: навч. посібник / Ю.М. Кузнецов, О.Ф. Саленко, А.О. Харченко, В.Т. Щетинін. – Київ-Кременчук-Севастополь: Вид-во «Точка», 2014. – 500 с.
3. А.с. 1355370 SU Резьбонарезная головка для гибкого автоматизированного производства / Ф.Н. Канареев, А.О. Харченко и др. // Бюл. Открытия. Изобретения. – 1987. – №44.
4. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рошупкин. – М.: Центркatalog, 2018. – 144 с.
5. Харченко А.О. Патентоведение и изобретательство: практикум / А.О. Харченко, А.Г. Карлов, А.А. Харченко, К.Н. Осипов. – М.: Центркatalog, 2018. – 112 с.

References

1. Kuznetsov, YU.N. Komponovka stankov s mekhanizmami parallel'noy struktury: Monografiya (*The layout of machines with mechanisms of parallel structure*) / YU.N. Kuznetsov, D.A. Dmitriyev, G.Ye. Dinevich. – Kherson: CHP Vyshemirskiy. – 2010. – 471 s.
2. Kuznetsov, YU.M. Tekhnologichne obladnannya s CHPK: mekhanizmy i osnashchennya: navch. Posibnyk (*CNC technological equipment: mechanisms and equipment*) / YU.M. Kuznetsov, O.F. Salenko, A.O. Kharchenko, V.T. Shchetynin. – Kyiv-Kremenchuk-Sevastopol': Vyd-vo «Tochka», 2014. – 500 s.
3. A.s. 1355370 SU Rez'bonareznyaya golovka dlya gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva (*Thread-cutting head for flexible automated production*) / F.N. Kanareyev, A.O. Kharchenko i dr. // Byul. Otkrytiya. Izobreteniya. – 1987. – №44.
4. Kharchenko A.O. Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum (*Analysis and synthesis of the structures of modern multioperational machines*) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, S.I. Roshchupkin. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 144 s.
5. Kharchenko A.O. Patentovedeniye i izobretatel'stvo: praktikum (*Patent Science and Invention*) / A.O. Kharchenko, A.G. Karlov, A.A. Kharchenko, K.N. Osipov. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 112 s.

УДК 621.9

ОБЗОР МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ВНУТРЕННИХ РЕЗЬБ В ДЕТАЛЯХ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ АДДИТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

А.С. Фарниев¹ студент, П.А. Новиков² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: afarniev97@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: panovikov@sevsu.ru

Аннотация

На сегодняшний день перспективной тенденцией развития машиностроения является применение аддитивных технологий, число деталей, изготавливаемых этими технологиями, стремительно возрастает. Проблема получения внутренних резьб в деталях, изготовленных аддитивными технологиями, весьма актуальна для современного машиностроения. В данной статье рассмотрены наиболее перспективные аддитивные технологии и наиболее оптимальные методы получения внутренних резьб в деталях, изготовленных по этим технологиям. Был рассмотрен метод формирования резьб непосредственно при изготовлении деталей на 3D-принтерах и методы образования внутренних резьб механической обработкой готовых деталей. В качестве методов механической обработки рассматривались методы нарезания внутренних резьб с помощью метчиков в отверстиях, сформированных при печати деталей на 3D-принтерах и механически обработанных специализированным инструментом. Проанализированы преимущества и недостатки данных методов получения внутренних резьб для деталей, изготовленных аддитивными технологиями из пластмасс и металлических порошков, были приведены рекомендации по применению метчиков различной конфигурации для различных материалов и типов производств. На основании данного анализа сделаны выводы по применению рассматриваемых методов образования внутренних резьб в деталях, изготовленных аддитивными технологиями, для различных целей.

Ключевые слова: аддитивные технологии, внутренние резьбы, формирование внутренних резьб, методы обработки, механическая обработка, резьбонарезание, метчики.

OVERVIEW OF METHODS AND MEANS OF OBTAINING INTERNAL THREADS IN PARTS MANUFACTURED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES

A.S. Farniev¹ student, P.A. Novikov² cand. sc. tech.

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: afarniev97@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: panovikov@sevsu.ru

Abstract

Today, a promising trend in the development of mechanical engineering is the use of additive technologies, the number of parts manufactured by these technologies is growing rapidly. The problem of obtaining internal threads in parts manufactured by additive technologies is very relevant for modern engineering. The article considers the most promising additive technologies and the most optimal methods for producing internal threads in parts made from these technologies. The method of forming threads directly in the manufacture of parts on 3D printers and methods of forming internal threads by machining finished parts were considered. The methods of cutting internal threads using taps in holes formed when printing parts on 3D printers and machined in finished parts with a specialized tool were considered as methods of machining. The advantages and disadvantages of these methods for producing internal threads for parts made by additive technologies of plastics and metal powders are analyzed, recommendations on the use of taps of various configurations for various materials and types of production were given. Based on this analysis, conclusions are drawn on the application of the considered methods of forming internal threads in parts made by additive technologies for various purposes.

Keywords: additive technologies, internal threads, the formation of internal threads, processing methods, machining, thread cutting, taps.

1. Введение

Развитие современного машиностроения требует применения новых технологий, повышающих производительность и качество продукции при низких затратах ресурсов.

На сегодняшний день перспективной тенденцией развития машиностроения является применение аддитивных технологий. Данные технологии позволяют получать детали сложной конфигурации при относительно высокой производительности и низких затратах материала. Число деталей, произведенных по такой технологии, стремительно растет.

Наиболее распространенным элементом конструкции деталей является резьба. Для соединения и функционирования в составе большинства изделий, детали, изготовленные аддитивными технологиями, должны иметь возможность соединения при помощи внутренних резьб.

В научно-технических источниках приводится значительное количество работ, посвященных исследованиям, выбору оптимальных геометрических параметров резьб, усовершенствованию старых и созданию новых методов получения резьб в различных материалах. На основании данных работ было разработано множество методов и инструментов различной конфигурации для обработки резьб, однако проблема получения внутренних резьб в деталях, изготовленных аддитивными технология-

ми, до настоящего времени недостаточно изучена.

Таким образом, задача получения внутренних резьб в деталях, изготовленных аддитивными технологиями, является весьма актуальной.

2. Основная часть

На сегодняшний день, аддитивные технологии являются одними из самых передовых и востребованных во всем мире. Данные технологии получили широкое распространения в научно-исследовательских организациях, автомобилестроении, авиастроении, машиностроении, медицине и во многих других отраслях.

Аддитивные технологии предполагают изготовление (построение) физического объекта (детали) методом послойного нанесения (добавления, англ. – «add») материала, в отличие от традиционных методов формирования детали, за счёт удаления материала из массива заготовки [1].

В настоящее время наиболее перспективными и быстро развивающимися технологиями являются:

1. Лазерная стереолитография (SLA) – объект формируется из специального жидкого фотополимера, затвердевающего под действием лазерного излучения.

2. Селективное лазерное спекание (SLS) – объект формируется из плавкого порошкового

материала (пластик, металл) путём его плавления под действием лазерного излучения

3. Селективное лазерное плавление (SLM) – объект формируется посредством лазерного плавления металлического порошка

4. Моделирование методом наплавления (FDM) – объект формируется путём послойной укладки расплавленной нити из плавкого рабочего материала (пластик, металл, воск).

5. Метод многоструйного моделирования (MJM) – материал наносится многоструйной головкой послойно на поверхность рабочей платформы, формируя объект [1].

Данными технологиями получают детали из пластика или металла, которые точно повторяют конфигурации 3D-моделей, построенных в системах автоматизированного проектирования. Для функционирования в составе большинства изделий, детали, изготовленные аддитивными технологиями, должны иметь возможность соединения с другими деталями изделия, что возможно осуществить с помощью внутреннего резьбового соединения.

Получить резьбовые отверстия в деталях, изготовленных аддитивными технологиями, возможно непосредственно при формировании деталей, выполнив резьбы на 3D-моделях деталей (рис. 1).



Рис. 1. Внутренние резьбы полученные при формировании деталей аддитивными технологиями

Данный метод позволяет получать резьбы без дополнительных технологических операций и применения специализированного инструмента, что является весьма перспективным. Однако, резьбы полученные данным методом обладают погрешностями геометрических параметров, в деталях проявляется дефект провисание пластика на вершинах профиля резьбы вследствие определенного ориентирования де-

тали при печати [2]. Резьбы сформированные в деталях из металлических порошков, на текущий момент, так же имеют низкое качество. Помимо этого, формирование резьбы в деталях, изготавливаемых аддитивными технологиями, значительно замедляет процесс создания детали, а формирование резьб малых диаметров или с малым шагом возможно лишь на немногих высокоточных устройствах.

Внутренние резьбы в деталях, изготовленных аддитивными технологиями, возможно получить традиционными методами механической обработки. Наиболее целесообразным методом обработки внутренних резьб в готовых деталях сложной конфигурации является обработка метчиками.

Метчики – инструмент, предназначенный для образования внутренних резьб в сквозных и глухих отверстиях. Обработка метчиками является основным видом изготовления внутренних резьб, особенно при нарезании их в отверстиях малых и средних диаметров. Метчики широко используются в машиностроении и весьма разнообразны по конструкциям и геометрическим параметрам [3].

Для нарезания резьб метчиками в деталях, изготовленных аддитивными технологиями, необходимо выполнить отверстия, причем отверстия могут быть выполнены на стадии формирования деталей на 3D-принтерах, либо механической обработкой готовых деталей. В первом случае качество получаемых отверстий хуже, чем во втором, вследствие большой шероховатости поверхностей деталей, изготавливаемых аддитивными технологиями, что в последствии скажется на качестве нарезаемой резьбы. Некоторые конфигурации метчиков весьма требовательны к качеству заготовленного отверстия, что потребует обязательной механической обработки отверстия набором инструмента.

Резьбонарезание метчиками может осуществляться ручным и машинным способом [4]. В производстве деталей по аддитивным технологиям целесообразнее применять ручной способ обработки отверстия (рис. 2). Это обусловлено минимум материальных и временных затрат на реализацию данной операции.



Рис. 2. Нарезание резьбы метчиком в пластмассовой детали, изготовленной аддитивными технологиями

Для деталей, изготовленных из металлических порошков и требующих высоких скоростей обработки, рационально применять машинные метчики. В этом случае реализация операции осуществляется на металлорежущих станках. Кроме того, вопрос необходимости обработки резьбовых отверстий может быть рассмотрен с позиции расширения технологических возможностей существующего оборудования и оснащение 3D-принтера, в случае необходимости, резьбообрабатывающим модулем.

В зависимости от металла, из которого получены детали, следует выбирать метчики наиболее подходящей конфигурации для обработки данного материала.

Метчики с вышлифованными в шахматном порядке нитками рекомендуются для обработки резьб в деталях из вязких материалов. Бесканавочные метчики используются для обработки резьбовых отверстий в жаропрочных сталях и

низкоуглеродистых вязких сталях [5]. Метчики-раскатники оптимальны для обработки цветных и черных металлов с высокой пластичностью и сравнительно невысокой прочностью, а твердосплавные метчики при обработке высокопрочных материалов.

Качество резьб, полученных при механической обработке метчиками, значительно выше чем у резьб формируемых непосредственно при изготовлении деталей на 3D-принтерах. Однако, данный метод требует использования специализированного инструмента и оборудования, также не до конца изучено влияние структуры деталей, изготовленных аддитивными технологиями, на характеристики резьб, полученных механической обработкой.

3. Заключение

Внутренние резьбы в деталях, изготовленных аддитивными технологиями, можно получить непосредственно при изготовлении деталей на 3D-принтерах, либо традиционными методами механической обработки готовой детали.

Резьбы формируемые при изготовлении детали на 3D-принтерах, на текущий момент, обладают низким качеством, но могут использоваться для простых соединений. Данный метод получения резьб является перспективным, так как с развитием технологий качество получаемых резьб возрастет.

Нарезание резьб метчиками позволяет получить качественные резьбы, которые можно использовать для ответственных соединений. Однако, требуется использования дополнительного инструмента и оборудования, а также, в некоторых случаях, предварительной обработки отверстий. Качественные и физико-механические характеристики резьб, полученных методом слоистого построения деталей, на текущий момент, изучены не до конца.

Список литературы

6. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. – 220 с.
7. Нефёлов И.С. Особенности изготовления и структура резьбовых поверхностей в деталях, изготовленных методами 3D-печати / И.С. Нефёлов, Н.И. Баурова // Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. «Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях». – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – С. 169-176.
8. Кожевников Д.В. Режущий инструмент : учебник для вузов / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В. Кирсанов и др. ; под ред. С. В. Кирсанова. 2-е изд., доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 528 с.
9. Древаль А.Е. Резьбообразующий инструмент / А.Е. Древаль, О.В. Мальков, Л.Д. Малькова // Учебное пособие по курсу «Основы проектирования режущего инструмента» ; под ред. А.Е. Древаль. – М.: Изд-во МГТУ, 2011. – 51 с.
10. Якухин В. Г. Оптимальная технология изготовления резьб. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с., ил.

References

1. Zlenko, M.A. (*Additive technology in mechanical engineering*) / M.V. Nagaicev, V.M. Dovbysh // posobie dlya inzhenerov. – M.: GNC RF FGUP «NAMI» 2015. – 220 s.
2. Nefyolov I.S. (*Features of manufacture and structure of threaded surfaces in parts made by 3D printing*) / I.S. Nefyolov, N.I. Baurova // Sb. tr. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Energorekursoberegayushie tekhnologii i oborudovanie v dorozhnoy i stroitel'noy otraslyakh». – Belgorod : Izd-vo BGTU, 2017. – S. 169-176.
3. Kozhevnikov D.V. (*Cutting tool*) : uchebnik dllya vuzov / D.V. Kozhevnikov, V.A. Grechishnikov, S.V. Kirsanov i dr. ; pod-red. S.V. Kirsanova – 2-e izd., dop. – M.: Mashinostroyeniye, 2005. – 528 s.
4. Dreval' A.E. (*Thread forming tool*) / A.E. Dreval', O.V. Mal'kov, L.D. Mal'kov // uchebnoye posobie po kursu «Osnovy proektirovaniya rezhushchego instrumenta» : pod red. A.E. Dreval' – M.: Izd-vo MGTU, 2011. – 51 s.
5. Yakukhin V.G. (*Optimal threading technology*). – M.: Mashinostroyeniye, 1985 – 184 s., il.

УДК 621.7

ПРОВЕРКА ВЫБРАННОЙ КОНСТРУКЦИИ И ГЕОМЕТРИИ СВЕРЛА ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ПО УСЛОВИЮ СТРУЖКООТВОДА

А.А. Тимошенко¹, В.Б. Богутский²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: nastua_2018@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: VBBogutskiy@sevsu.ru

Аннотация

В условиях современного машиностроения параметр надежности играет одну из важнейших ролей. Он зависит от многих факторов и с прогрессированием производственного процесса, растёт количество факторов влияющих на надежность. Процессы стружкообразования при обработке осевым инструментом влияют на надежность всей системы и, как следствие на надежность функционирования механообрабатывающего оборудования. В статье подробно рассмотрено влияние формы стружечных канавок, а также углов заточки осевого инструмента на форму стружки. При анализе учтены такие факторы как, направления ее схода, формы, размеров, способности к дроблению, завиванию и разделению по ширине, направлений потоков стружки от различных лезвий каждого зуба, трения, возникающего при движении стружки, профиля стружечных канавок и способов подачи СОТС в зону резания скорость движения, усадка и упругость усадки, несоответствие скорости движения и усадки стружки у вершины и на наружном диаметре сверла, то в конечном итоге мы можем с уверенностью определить наиболее эффективный способ обработки резанием осевым инструментом при наилучшем дроблении стружки, а именно вибрационное сверление.

Ключевые слова: обработка резанием, осевой инструмент, надежность механообрабатывающего оборудования, стружкоотвод, форма стружки, винтовые канавки, сверло, сверление.

CHECKING THE SELECTED DESIGN AND DRILL GEOMETRY FOR SPECIFIC PROCESSING CONDITIONS FOR CHIP REMOVAL

A.A. Timoshenko¹, V.B. Bogutsky²

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, nastua_2018@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, VBBogutskiy@sevsu.ru

Abstract

In modern engineering, the reliability parameter plays one of the most important roles. It depends on many factors and with the progression of the production process, the number of factors affecting reliability is growing. Chip formation processes during machining with an axial tool affect the reliability of the entire system and, as a consequence,

the reliability of the operation of machining equipment. The article discusses in detail the effect of the shape of the chip grooves, as well as the sharpening angles of the axial tool on the shape of the chip. The analysis took into account such factors as the directions of its descent, shape, size, ability to crush, curl and split in width, the directions of the flow of chips from the various blades of each tooth, friction arising from the movement of the chip, the profile of the chip grooves and methods of supplying COTS into the cutting zone, the speed of movement, shrinkage and elasticity of shrinkage, the discrepancy between the speed of movement and shrinkage of the chips at the top and on the outer diameter of the drill, then in the end we can confidently determine the most effective method of processing cutting axial tool with the best crushing of chips, namely vibration drilling.

Keywords: machining, axial tools, reliability of machining equipment, chip control, chip shape, helical grooves, drill, drilling.

Введение

Технологическая гибкость производства зачастую становится одним из основных факторов, обеспечивающим преимущество при производстве конкурентоспособных изделий, предлагаемых компаниями на мировых рынках [1-5]. Многократная чередуемость партий обрабатываемых деталей требует высокого уровня перенастраиваемости механообрабатывающего оборудования при необходимости роста производительности, обеспечения качества обработки и надежности функционирования. Одним из факторов во многом обеспечивающем и надежность функционирования является рациональный выбор конструкции и геометрии режущих инструментов, в частности сверл [6, 7 и др.]. Согласно [8-10 и др.] рациональность выбранной конструкции и геометрии сверла для конкретных условий обработки должна быть подтверждена проверкой не только по условиям прочности и продольной устойчивости, но и по условию стружкоотвода.

Изложение основного материала

Свободный выход стружки из зоны резания и дальнейшее перемещение ее по стружечным канавкам сверла зависят от направления ее схода, формы, размеров, способности к дроблению, завиванию и разделению по ширине, направлений потоков стружки от различных лезвий каждого зуба, трения, возникающего при движении стружки, профиля стружечных канавок и способов подачи СОТС в зону резания.

Средний угол схода стружки с учетом взаимного влияния зон деформирования по длине главных лезвий выражается формулой

$$\eta_{cp} = \int_{c_0/\sin\psi}^1 \frac{\eta(c_p)}{1 - c_0/\sin\psi} dc_p \quad (1)$$

где η – угол схода стружки на участке dc_p , расположенном на радиусе c_p ; ψ – угол наклона поперечного лезвия.

Угол η определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \eta = (\operatorname{tg} \lambda - \operatorname{tg} \nu) \xi_N + \sin |\gamma_N| \operatorname{tg} \nu \quad (2)$$

где ν – угол поворота проекции силы резания на плоскость резания относительно нормальной плоскости к лезвию на радиусе c_p , ξ_N – коэффициент нормальной усадки стружки; λ – рабочий угол наклона лезвия; γ_N – статический передний угол лезвия.

Если принять приближенно $\eta = \lambda$, то расчет значительно упростится.

Причем наибольшая погрешность при расчете среднего угла схода стружки не будет превышать 5° . В этом случае угол схода стружки определим по формуле.

$$\sin \eta = \frac{c_z m - c_y l}{\sqrt{(c_y^2 + c_z^2)(l^2 + m^2 + n^2)}}$$

где c_z, c_y – координаты произвольной точки поверхности сверла радиусом R , ($c_z = z/R$, $c_y = y/R$); l, m, n – геометрические характеристики стружечной канавки.

При заточке сверла с прямолинейными главными лезвиями

$$\operatorname{tg} \eta = c_0 \sin \varphi \sqrt{c_{\rho}^2 - c_0^2} \quad (3)$$

а площадь в поперечном сечении в безразмерных величинах:

$$c_F = \pi c_0^2 / 4 + 2 \int_{c_0}^{c_{\rho 1}} c_b d(c_{\rho}) + 2 c_{hl} c_{bl} / \cos \omega \quad (4)$$

где $c_{\rho 1}$ – отношение радиуса спинки к наружному радиусу сверла; c_{bl} – отношение ширины ленточек к наружному радиусу сверла; ω – угол наклона стружечных канавок; c_{hl} – отношение высоты ленточек к наружному радиусу сверла;

После интегрирования по формуле приходим к выражению

$$\eta_{cp} = \frac{\sin \psi}{\sin \psi - c_0} \operatorname{arctg} \frac{c_0 \sin \varphi}{\sqrt{1 - c_0^2}} - \frac{c_0}{\sin \psi - c_0}$$

$$\operatorname{arctg}(\sin \varphi \operatorname{tg} \psi) - \frac{c_0^2 \sin \psi}{2(\sin \psi - c_0)} (1 + \cos^2 \varphi) \quad (5)$$

$$\left[\ln(-c_0^2 \cos^2 \varphi) - \ln \left(\frac{c_0^2}{\sin^2 \psi} - c_0^2 \cos^2 \varphi \right) \right] - 0,5$$

Пользуясь формулой (4), рассчитаем величину угла схода стружки без учета взаимного влияния потоков стружки по длине лезвий для различных значений c_0 и φ (φ – рабочий угол в плане) (рис. 1).

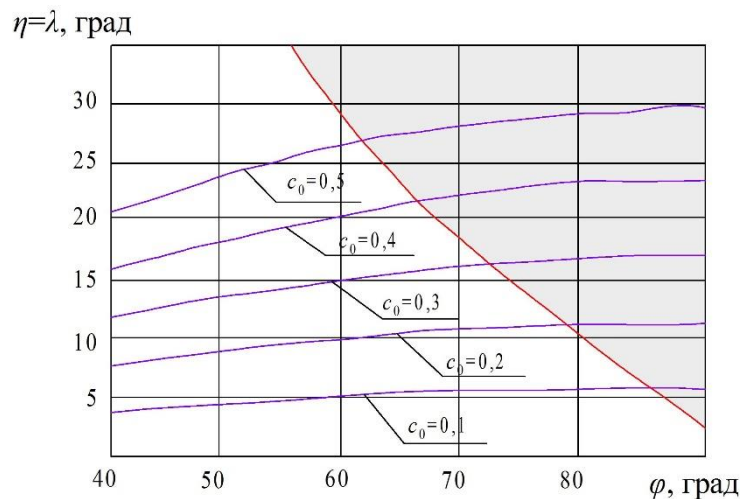


Рис. 1. Зависимость угла схода стружки от угла в плане [11].

Очевидно, что при $\eta \approx 90^\circ - \varphi$ стружка будет перемещаться в цилиндрическом сечении, параллельном оси сверла, при $\eta > 90^\circ - \varphi$ – к стенкам обработанного отверстия, налипая на ленточках из-за заклинивания стружки между сверлом и поверхностью отверстия (область нерациональных геометрических параметров заштрихована). Вследствие взаимного влияния зон деформирования величина угла схода стружки у витых сверл, рассчитанная по формуле (5), превышает величину угла наклона лезвия на наружном диаметре не более чем на 10° , следовательно, область допустимых сочетаний c_0 и φ должна быть уменьшена (красная линия на рис. 1). Следует учесть, что уменьшение угла наклона стружечных канавок уменьшает угол схода стружки (см. формулу 2). На величину угла схода стружки влияют также создание при заточке ломаных лезвий и подточка передних поверхностей сверла. Так, образование двойного угла при вершине с углом в плане на уголках сверла φ_0 приводит к уменьшению угла схода стружки на величину

$$\Delta \eta = 0,5 \arcsin \left[\frac{B_0 \sin \varphi}{D/2 - B_0 \sin \varphi_0} \sin(\varphi - \varphi_0) \right]$$

где B_0 – длина участка лезвия с углом φ_0 ; D – диаметр сверла.

Из формулы (2) следует, что, увеличивая передние углы в центральной части сверла подточкой передних поверхностей с образованием канавок, можно снизить угол схода стружки и ее усадку.

Несоответствие скорости движения и усадки стружки у вершины и на наружном диаметре сверла ведет к искривлению стружки по передней поверхности с образованием радиуса кривизны с центром у вершины

$$R_{kp} = \frac{\zeta_B D (1 - c_0)}{2(\xi_B - \zeta_H c_0)}$$

где $\sim B$ и $\sim H$ – коэффициенты нормальной усадки стружки соответственно на внутренних и наружных участках главных лезвий.

При $\sim B$ и $\sim H = 1/c_0$ радиус кривизны бесконечен и стружка прямолинейна. Большее отношение коэффициентов усадок вызывает искривление стружки в направлении к стенкам отверстия. И наоборот, увеличение усадки на внутренних участках лезвия ведет к уменьшению радиуса кривизны и движению стружки к сердцевине сверла.

Обработка пластичных материалов происходит с образованием четырех типов стружки: ленточной, спиральной, завитой и дробленой.

Вследствие восстановительного упругого удлинения контактного слоя стружки за пределами зоны резания происходит естественное ее завивание, а под воздействием радиусной формы стружечных канавок - принудительное. В любом случае диаметр завитка D_3 на наружном диаметре сверла должен быть меньше диаметра окружности, вписанной в проходное сечение стружечной канавки, равного $D(1 - c_0)/2$.

Направления схода стружки и завивания обычно не совпадают, поэтому стружка получается в виде спирали с наибольшим возможным шагом $t_3 = \pi D_3 / \tan \eta_{cp}$. Спиральная стружка допустима при достаточном объеме и плавном криволинейном профиле стружечных канавок. Чтобы стружка свободно перемещалась (без заклинивания и пакетирования), она должна иметь плотно скрученные завитки. Расчетная формула величины среднего угла схода плотно скрученной стружки имеет вид

$$\tan \eta_{cp} = \frac{2\pi D_3 (D_3 - d_3)}{k \zeta_H S D \sin^2 \varphi \sqrt{1 - c_0^2 - c_0 \tan \psi}}$$

где d_3 - диаметр завитка у оси сверла; k - коэффициент неплотности упаковки стружки, равный 1...1,5.

Завитая стружка образуется при малых величинах углов в плане и углов схода стружки. Заполнение стружечной канавки происходит как при протягивании, и расчет предельно допустимой длины осевого перемещения сверла L_3 следует проводить с учетом коэффициента заполнения канавки k_0 и условия

$$L_3 = \frac{0,125 D (1 - c_0)^2}{k_0 \sin \varphi}$$

Несоблюдение данного условия приводит к пакетированию стружки и поломке сверла.

Причинами появления дробленой стружки являются ее повышенная жесткость и наличие препятствий движению. Например, у шнековых сверл таким препятствием может быть порожек

трапецеидальной канавки подточенной передней поверхности. При увеличенном угле наклона стружечных канавок и малых углах в плане создаются условия для дробления стружки завивающей частью канавки. Криволинейная и ломаная формы лезвий сверла способствуют повышению жесткости стружки. Длина осевого перемещения сверла, необходимого для образования одного элемента дробленой стружки, определяется по формуле

$$L_n = \left(1 + \frac{2P}{D}\right) \frac{S \cos \omega \zeta_H}{2\pi \cos \eta_{cp}},$$

где P - расстояние от оси сверла до ломающего участка стружкозавивающей поверхности, измеренное в проекции на торцевое сечение инструмента вдоль главного лезвия.

Сначала прямолинейная ленточная стружка движется по винтовой передней поверхности, затем упирается в поверхность отверстия, отжимается к стружкозавивающей поверхности канавки и препятствует движению вновь образующейся стружки. В результате может произойти ее заклинивание. Чтобы исключить это явление, предельную длину стружки необходимо ограничить. При этом максимальное осевое перемещение сверла будет

$$L_u = S \zeta_H (0,75 \cos \omega - B / \pi D),$$

где B - ширина пера.

Тогда оптимальная длина стружки при допустимых осевых перемещениях $L = L_3$, или $L = L_n$, или $L = L_u$ определяется как $L_c \pi D L / (S \zeta_H)$

Выводы

Наиболее эффективным способом дробления стружки является вибрационное сверление. Амплитуда вибраций должна выбираться в зависимости от типа стружки и быть не менее расчетных величин L_3 , L_n и L_u . Частота вибраций соответственно будет $f = nL/S$, где n - частота вращения сверла.

Список литературы

1. Mahmood K. Performance analysis of a flexible manufacturing system (FMS)/ K. Mahmood, T. Karaulova, T. Otto, E. Shevtshenko//Procedia CIRP 63, 2017. – P.424-429. Doi: 10.1016/j.procir.2017.03.123.
2. Nicolae R. Flexibility and efficiency analysis of a flexible manufacturing system/ R. Nicolae, A. Nedelcu// Review of the Air Force Academy. – 2015. – №1(28). – P. 155-158.
3. Carmen Ruiz M. Improving performance in flexible manufacturing systems / M. Carmen Ruiz et al //The Journal of Logic and Algebraic Programming. – 2009. – № 78. – P. 260–273.
4. Mitsuyuki Konishi. Flexible manufacturing system for agile production/ Mitsuyuki Konishi, Tamaya Sugano// Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review. – 2005. – Vol. 42. – No. 2.

5. Kaushal A. Flexible manufacturing system. A modern approach to manufacturing technology/ A. Kaushal, A. Vardhan, R. S. Rajput // International Refereed Journal of Engineering and Science. – 2016. – Vol. 5, Iss. 4. – P.16-23.
6. Boer H. The effective implementation and operation of flexible manufacturing systems/ H. Boer, Koos J J Krabbendam // International Studies of Management and Organization. – 1992. – Vol. 22 (4). – P. 33-48.
7. Woo S. Reliability design of mechanical systems. A guide for mechanical and civil engineers. / S. Woo. // Springer International Publishing AG, 2017. – 309 p.
8. Бохо́нский А. И.; Головин В.И., К вопросу оценки надежности сверла// Оптимизация производственных процессов. – Севастополь: СевНТУ, 2009. – Вып.11 – С. 48-51.
9. Емельянов Д.В. Изучение работоспособности сверл с переменным шагом винтовой линии [Текст] / Д.В. Емельянов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – С.160-162.
10. Лашнев С.И. Расчет параметров профиля винтовой поверхности в произвольной секущей плоскости / С.И. Лашнев, А.Н. Борисов // Станки и инструменты. – 1984. – № 12. – С. 18–21.

References

1. Mahmood K., T. Karaulova, T. Ottoa, E.Shevtsenko Performance analysis of a flexible manufacturing system (FMS) *Procedia CIRP* 63, 2017, pp.424-429. Doi: 10.1016/j.procir.2017.03.123.
2. R. Nicolae, A. Nedelcu Flexibility and efficiency analysis of a flexible manufacturing system *Review of the Air Force Academy*, 2015, No 1 (28), pp. 155-158.
3. Carmen Ruiz M. at all Improving performance in flexible manufacturing systems *The Journal of Logic and Algebraic Programming*, 2009, No. 78, pp. 260–273.
4. Mitsuyuki Konishi, Tamaya Sugano Flexible manufacturing system for agile production *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review*, 2005, Vol. 42, No. 2.
5. A. Kaushal, A. Vardhan, R. S. Rajput Flexible manufacturing system. A modern approach to manufacturing technology *International Refereed Journal of Engineering and Science*, 2016, Vol. 5, Iss. 4, pp.16-23.
6. H. Boer, Koos J., J. Krabbendam The effective implementation and operation of flexible manufacturing systems *International Studies of Management and Organization*, 1992, Vol. 22 (4), pp. 33-48.
7. Woo S. Reliability design of mechanical systems. A guide for mechanical and civil engineers. *Springer International Publishing AG*, 2017, 309 p.
8. Bokhonsky A.I.,; Golovin V.I., On the issue of assessing the reliability of drill *Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov*, Sevastopol, SevNTU, 2009, Vol.11, pp. 48-51.
9. Emelyanov D.V. The study of the performance of drills with a variable pitch helix [Text] *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2012, pp. 160-162.
10. Lashnev S.I., A.N. Borisov Calculation of the parameters of the profile of the helical surface in an arbitrary secant plane *Stanki i instrument*, 1984, No12, pp. 18-21.

УДК 621.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ РЕЗЬБЫ ХОДОВЫХ ВИНТОВ ШАРИКОВЫХ ВИНТОВЫХ ПЕРЕДАЧ

В.И. Лебах¹, В.Б. Богуцкий²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: snout7@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: VVBogutskiy@sevsu.ru

Аннотация

Исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что радиус профиля резьб оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики передач ВГК: нагрузочную способность, жесткость, плавность работы и долговечность. Поэтому к точности профиля резьбы предъявляют высокие требования. Для обеспечения высокого качества функционирования передачи очень важно получить минимальное отклонение на всей длине винта таких параметров как момента холостого хода и жесткости, от которой зависит точность перемещения и установки в требуемое положение рабочих органов станка. Поэтому особое внимание при изготовлении винтов и гаек уделяется обеспечению стабильности радиуса профиля резьбы.

Для обеспечения стабильности радиуса профиля резьбы в статье разработана математическая модель процесса шлифования резьбы, обеспечивающего сохранение профиля круга. Показано, что полученная математическая модель требует экспериментальной проверки в условиях шлифования резьбы ходовых винтов качения и при необходимости соответствующего ее уточнения. Приведенные автором результаты работы показывают, что работа имеет практическую ценность. Ее результаты могут использоваться, при определенных работах, в условиях машиностроительного предприятия.

Ключевые слова: профиль резьбы, шарико-винтовая передача, шлифование резьбы, радиус профиля, ходовой винт, правка шлифовальных кругов, профиль круга.

MODELING THE PROCESS OF GRINDING THREADS OF DRIVING SCREWS OF BALL SCREW GEARS

V.I. Lebakh¹, V.B. Bogutsky²

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, snout7@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, VBBogutskiy@sevsu.ru

Abstract

Studies of domestic and foreign scientists show that the radius of the thread profile has a significant impact on the performance of VHC transmissions: load capacity, rigidity, smoothness and durability. Therefore, the accuracy of the thread profile is high requirements. In order to ensure the high quality of transmission functioning, it is very important to obtain a minimum deviation on the entire length of the propeller of parameters such as the moment of idling, the changes of which characterize the smoothness of the work, and the rigidity on which it depends. precision of movement and installation in the required position of the machine's working organs. Therefore, special attention is paid to ensuring the stability of the thread profile radius. For ensuring the stability of the radius of the thread profile, the article developed a mathematical model of the thread grinding process that ensures the preservation of the circle profile.. It is shown that the obtained mathematical model requires experimental verification in the conditions of grinding the thread of the rolling screws and, if necessary , its corresponding refinement.

Keywords: thread profile, ball-screw gear, thread polishing, profile radius, running screw, polishing circles, circle profile.

Введение

Исследования отечественных и зарубежных ученых показывают, что радиус профиля резьб оказывает существенное влияние на эксплуатационные характеристики шарико-винтовых передач (ШВП): нагрузочную способность, жесткость, плавность работы и долговечность и поэтому к точности профиля резьбы предъявляют высокие требования (допуск на радиус профиля канавки 0,007...0,015 мм в зависимости от типоразмера). Однако даже при выполнении этих требований, изменения размеров резьбовой поверхности в пределах поля допуска приводят к изменению нагрузочной способности передачи в 1,6 раза, ее жесткости в 1,4 раза и долговечности в 2,1 раза [1-6 и др.]. Для обеспечения высокого качества функционирования передачи очень важно получить минимальное отклонение на всей длине винта таких параметров как момента холостого хода, изменения которого характеризуют плавность работы, и жесткости, от которой зависит точность перемещения и установки в требуемое

положение рабочих органов станка. Поэтому особое внимание при изготовлении винтов и гаек уделяется обеспечению стабильности радиуса профиля резьбы. Как следует из технических требований, у винтов с шагом резьбы 10 мм изменения радиуса профиля не должны превышать 5 мкм, а у винтов с шагом резьбы 5мм – 2,5 мкм. При выполнении этого условия расчетные поле рассеивания нагрузочной способности, жесткости и долговечности передачи не превышает 20% от их нормальных значений.

Как показано в [7-10] правка шлифовальных кругов, предназначенных для обработки резьбовой канавки, осуществляется алмазными иглами и роликами и обеспечивает постоянный радиус правки в пределах операции. Поэтому радиус профиля круга r после правки на всех переходах одинаковый и равен требуемому радиусу профиля резьбовой канавки. В процессе шлифования в связи с неравномерным износом профиль круга изменяется, приводя к отклонению профиля резьбы от заданного. Для обеспечения требуемой точности профиля резьбы необходимо создать условия, повышающие

стабильность профиля круга. В производстве это достигается уменьшением интенсивности съема металла, увеличением частоты правок круга или одновременным воздействием этих факторов. Первый способ повышения стабильности профиля круга приводит к снижению производительности обработки. Частые правки круга из-за потери точности профиля приводят к увеличению времени правки, приходящегося на одну заготовку, и к уменьшению наработки круга до полного износа. Последнее объясняется тем, что при правке удаляется до 85...95% объема абразивного материала [11]. Поэтому повышение стабильности профиля круга является важной задачей технологического процесса, обеспечивающий требуемую точность профиля резьбы. При использовании дорогостоящих кругов требование по обеспечению стабильности их профилей увеличивается.

Изложение основного материала

В работе [12] показано, что при шлифовании резьбы винтов форма профиля круга остается близкой к полукруглой, а радиус профиля увеличивается. Это происходит в результате более интенсивного износа вершины профиля круга. Темп износа абразивного круга увеличивается с увеличением интенсивности съема металла [13-15 и др.]. Повысить стабильности профиля резьбы можно, управляя величиной износа круга на различных участках профиля двумя способами:

- уменьшением интенсивности износа на вершине профиля;
- увеличением интенсивности круга на боковых участках его профиля.

При шлифовании резьбы полукруглого профиля удаляемый припуск равен $Z = \sum_{i=1}^n t_{0i}$,

где t_{0i} – глубина резания на вершине профиля круга на i -м переходе. Поэтому производительность операции определяется интенсивностью съема металла вершиной профиля круга на каждом их переходах, т. е. глубиной резания t_{0i} и окружной скоростью заготовки V_i . В связи с этим первый способ повышения производительности профиля круга приведет к уменьшению стабильности обработки. Поэтому повышение стабильности профиля целесообразно осуществлять вторым способом, увеличивая на боковых участках толщину удаляемого слоя металла (при этом производительность процесса не только не уменьшится, а наоборот – вырастет). Это может быть достигнуто, если про-

филь резьбовой канавки, поступающий на шлифование, будет отличаться от профиля круга так, чтобы на боковых участках толщина снимаемого слоя была больше, чем при схеме шлифования $r = r_p$ (где r_p – радиус профиля резьбы перед обработкой).

Распределение глубины резания по профилю круга с целью обеспечения постоянства профиля резьбы является сложным, т.к. интенсивность износа шлифовального круга зависит от многих факторов (физико – механических свойств обрабатываемого материала, характеристики круга, наличие и свойств СОТС, режимов обработки и пр.). Вследствие этого профиль резьбовой канавки, реализующей такое распределение, отличается от дуги окружности.

Основными исходными данными для определения профиля резьбовой канавки являются радиус профиля круга r и глубина резания при вершине t_0 . Радиус профиля круга равен требуемому радиусу профиля резьбы после каждого рабочего хода. Поэтому в качестве математической модели процесса шлифования резьбы, обеспечивающего сохранение геометрической формы и радиуса профиля круга, принимаем зависимость профиля резьбовой канавки, поступающей на шлифование, от радиуса профиля круга r и глубины резания t_0 на его вершине:

$$Z_p = f(r, t_0), \quad (1)$$

где Z_p – кривая, описывающая профиль резьбовой канавки.

Профиль резьбовой канавки можно описать с помощью радиуса – вектора R_α . Исходя из схемы, представленной на рис.1, получим:

$$R_\alpha = r - t_\alpha, \quad (2)$$

где t_α – глубина резания по нормали к профилю круга.

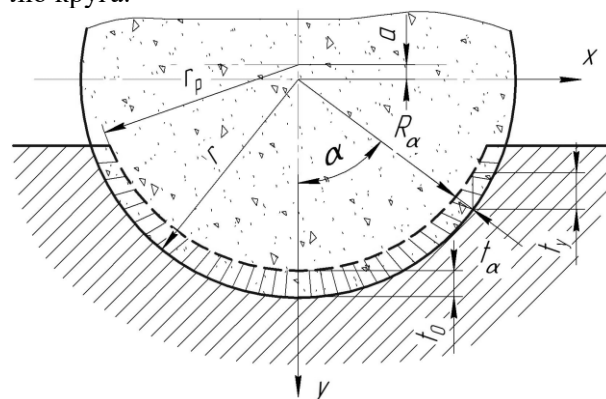


Рис. 1. Схема для определения профиля резьбовой канавки, обеспечивающей стабильность профиля круга.

В процессе шлифования круг будет сохранять свой профиль тогда, когда его износ U в радиальном направлении будет одинаковым по всему профилю. Износ круга к его профилю в этом случае должен быть равен:

$$U_\alpha = U_0 \cos \alpha \quad (3)$$

где U_0 – износ вершины профиля круга.

Условие (3) обеспечивается при определенной глубине резания в каждой точке профиля и, следовательно, при определенном законе изменения глубины резания t_α по профилю круга. В работах [13-16] установлено, что при шлифовании плоских и цилиндрических поверхностей стальных заготовок износ круга зависит от режимов обработки:

$$U = C_u t^x S^y V^z \quad (4)$$

где C_u – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, СОТС и характеристики круга. При шлифовании резьбы ходовых винтов качения S и V практически не меняются по профилю резьбы. С учетом этого из формул (3) и (4) получим:

$$\frac{U_\alpha}{U_0} = \left(\frac{t_\alpha}{t_0} \right)^x = \cos \alpha.$$

Отсюда находим распределение глубины резания по профилю круга

$$t_\alpha = t_0 \cos^{1/x} \alpha.$$

Подставляя значение t_α в формулу (2), получим выражение, описывающее профиль резьбовой канавки, поступающей на шлифование:

$$R_\alpha = r - t_0 \cos^{1/x} \alpha.$$

Преобразуем данную формулу:

$$R_\alpha = r \left(1 - \frac{t_0}{r} \cos^{1/x} \alpha \right). \quad (5)$$

Выражение в скобках зависит от отношения $\frac{t_0}{r}$ и постоянно при $\frac{t_0}{r} = \text{const}$. При этом величина R_α прямо пропорциональна r . Т.е. при $\frac{t_0}{r} = \text{const}$ форма профилей резьбовых канавок одинакова, а величина r играет роль масштабного фактора.

По данным работы [17] можно принять $x=1,6$. Тогда

$$t_\alpha = t_0 \cos^{0,625} \alpha \quad (6)$$

и

$$R_\alpha = r \left(1 - \frac{t_0}{r} \cos^{0,625} \alpha \right). \quad (7)$$

Как следует из формул (5) и (7), профиль резьбовой канавки отличается от дуги окружности и имеет сложную форму. Для формирования резьбовой канавки необходимо применить круг с таким же профилем. Получение данного профиля является трудной задачей, решение которой требует создания специальных сложных и дорогостоящих устройств для правки круга. Производственный опыт и результаты исследований износа абразивных кругов [14, 15, 19 и др.] позволяют сделать предположение о нецелесообразности создания такого профиля в связи со сложным взаимодействием физических явлений, протекающих в ходе шлифования, которые быстро нарушают профиль круга. В результате эффект от созданного сложного профиля исчезнет. В связи с этим с целью упрощения конструкций правящих устройств и контрольно-измерительных приборов для проверки профиля необходимо сделать допущение, заключающееся в несущественном влиянии на погрешность обработки аппроксимации сложного расчетного профиля более простым.

Для выбора аппроксимирующего профиля рассмотрим форму расчетного профиля, выполненного в соответствии с формулой (7) и представленного на рис.1. Профиль рассчитан для шлифования круга с радиусом профиля $r=3\text{мм}$ (наиболее распространенный радиус профиля ходовых винтов) при глубине резания $t_0=0,3\text{мм}$ (обычно при шлифовании резьбы глубина резания не превышает $0,3\text{мм}$) в диапазоне углов $\alpha=0^\circ\div 75^\circ$. При меньшей глубине резания отклонение расчетного профиля от профиля круга меньше. Из рис.1 видно, что расчетный профиль близок к дуге окружности. Поэтому рассмотрим возможность аппроксимации профиля, описываемого формулой (7), дугой окружности радиусом r_p .

Из рис.1 получим

$$r_p = \sqrt{(R_\alpha \sin \alpha)^2 + (R_\alpha \cos \alpha + a)^2} \quad (8)$$

При $\alpha=0$

$$r_p = r - t_0 + a. \quad (9)$$

Таким образом, для определения величины r_p необходимо знать значение a . Для нахождения a подставляем в формулу (8) значения R_α из выражения (7) и r_p из формулы (9). Решая полученное уравнение относительно a , находим

$$a = K t_0, \quad (10)$$

$$K = \frac{1 - 0,5 \frac{t_0}{r} (1 + \cos^{0,625} \alpha)}{\frac{1 - \cos \alpha}{1 - \cos^{0,625} \alpha} - \frac{t_0}{r} \frac{1 - \cos^{1,625} \alpha}{1 - \cos^{0,625} \alpha}}. \quad (11)$$

Подставляя значение a из формулы (10) в формулу (7), получим

$$r_p = r - t_0(1 - K) = r - At_0, \quad (12)$$

где $A = 1 - K$.

Из формулы (8) следует, что с уменьшением величины a значение r_p уменьшается. Это приводит к увеличению глубины резания на боковых участках профиля. С уменьшением a уменьшается коэффициент K в формуле (10), а, следовательно, увеличивается коэффициент A в формуле (12). Т. е. чем больше коэффициент K , тем больше глубина резания r_p .

Для определения радиуса профиля резьбовой канавки, аппроксимирующей расчетный профиль (7), необходимо знать значение коэффициента K . Из формулы (11) видно, что коэффициент K зависит от отношения t_0/r и меняется по профилю в зависимости от угла α . Рассмотрим влияние указанных факторов на величину K . При шлифовании резьбы ходовых винтов качения диапазон изменения отношения составляет $0 \dots 0,1$, а профиль резьбы ограничивается углом 71° . Рассчитанные по формуле (11) значения коэффициента K в зависимости от угла α и отношения t_0/r представляется в таблице 1, а графические зависимости $K = f(\alpha, \frac{t_0}{r})$ показаны на рис.2.

Таблица 1. Значения коэффициента K в зависимости от угла α и отношения t_0/r .

$\frac{t_0}{r}$	α , град		
	5	15	30
0	0,624	0,628	0,642
0,03	0,638	0,640	0,654
0,05	0,650	0,652	0,663
0,10	0,672	0,674	0,687
$\frac{t_0}{r}$	α , град		
	45	60	75
0	0,666	0,704	0,769
0,03	0,678	0,716	0,781
0,05	0,686	0,723	0,789
0,10	0,710	0,745	0,811
$\frac{t_0}{r}$	$K_{аср}$	$\frac{K_{amax} - K_{amin}}{K_{аср}}$ %	
0	0,672	21,4	
0,03	0,684	20,9	
0,05	0,694	20,0	
0,10	0,716	19,4	

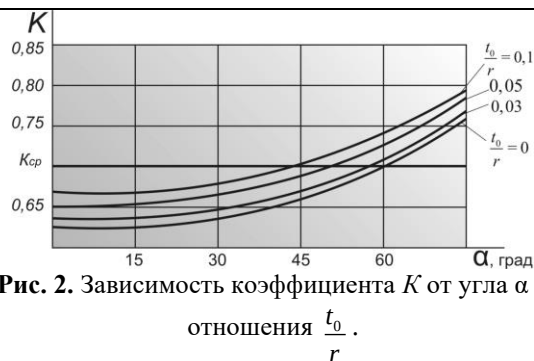


Рис. 2. Зависимость коэффициента K от угла α и отношения $\frac{t_0}{r}$.

Из результатов расчетов, представленных в табл.1 и на рис.2, видно, что значение коэффициента K меняется с изменением угла α . Эти изменения не превышают 12% относительно

среднего коэффициента $K_{аср} = \sum_{i=1}^6 \frac{K_{ai}}{6}$. Отношение

коэффициента K по профилю резьбы $K_{\alpha \max} - K_{\alpha \min}$. Изменение коэффициента K , не превышающие $\pm 3,4\%$ от среднего значения, определенного как среднее арифметическое от

$K_{аср}$ при $\frac{t_0}{r} = 0$, и $K_{аср}$ при $\frac{t_0}{r} = 1$:

$$K = \frac{0,672 + 0,716}{2} \approx 0,7.$$
 Подставляя это значение

в формулы (10) и (12), получим

$$a = 0,7t_0, \quad (13)$$

$$r_p = r - 0,3t_0. \quad (14)$$

Таким образом, в результате аппроксимации получена простая формула (14). С целью определения возможности использования этой формулы найдем погрешности, вносимые аппроксимацией профиля другой окружности, в распределение глубины резания t_α по профилю круга. Для этого определим расстояние Δt_α между указанными кривыми при различных углах α и сравним его с глубиной резания t_α . Величина Δt_α равна

$$\Delta t_\alpha = t_\alpha - t'_\alpha \quad (15)$$

где t_α и t'_α - глубина резания на боковых участках профиля круга при шлифовании резьбовой канавки с расчетным профилем (7) и аппроксимированным (14) соответственно.

Значение t_α определяется по формуле (6).

Для определения глубины резания t'_α найдем координаты точек пересечения линии, проходящей под углом α к оси Y (рис.1), с профилем круга (x, y) и с профилем резьбы (x_p, y_p) . Тогда

$$t'_\alpha = \sqrt{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2}. \quad (16)$$

Уравнение дуги окружности профиля резьбы в системе координат XOY (рис.1) имеет вид:

$$x^2 + (y+a)^2 = r_p^2. \quad (17)$$

Уравнение линии, проходящей через начало координат под углом α к оси Y , описывается формулой

$$Y = \frac{x}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (18)$$

Решая совместно уравнения (17) и (18), получим координаты

$$x_p = (\sqrt{r_p^2 - a^2 \sin^2 \alpha} - a \cos \alpha) \sin \alpha;$$

$$y_p = (\sqrt{r_p^2 - a^2 \sin^2 \alpha} - a \cos \alpha) \cos \alpha.$$

Из рис.1 находим координаты пересечения линии (17) с профилем круга: $x = r \sin \alpha$; $y = r \cos \alpha$. Подставляя полученные координаты x , y , x_p , y_p в формулу (16), получим

$$t_\alpha' = r - \sqrt{r_p^2 - a^2 \sin^2 \alpha} + a \cos \alpha. \quad (19)$$

С учётом значения t_α' и значения t_α из формулы (6) выражение (15) будет иметь следующий вид:

$$\Delta t_\alpha = t_0 \cos^{0,625} \alpha - r + \sqrt{r_p^2 - a^2 \sin^2 \alpha} - a \cos \alpha.$$

Подставляя в данную формулу значения a и r_p из формул (13) и (14), получим:

$$\Delta t_\alpha = t_0 \cos^{0,625} \alpha - r + \sqrt{(r - 0,3t_0)^2 - 0,49t_0^2 \sin^2 \alpha} - 0,7t_0 \cos \alpha. \quad (20)$$

Для оценки степени влияния аппроксимации на изменение глубины резания t_α с помощью формулы (20) найдем соотношение $\frac{\Delta t_\alpha}{t_\alpha}$:

$$\Delta t_\alpha = \cos^{0,625} \alpha - 0,7 \cos \alpha - \frac{r}{t_0} + \sqrt{\left(\frac{r}{t_0} - 0,3\right)^2 - 0,49 \sin^2 \alpha} \quad (21)$$

Относительная погрешность $\frac{\Delta t_\alpha}{t_\alpha}$ зависит

от отношения r/t_0 и меняется с изменением угла α . Величина отношения r/t_0 при шлифовании резьбы превышает $r/t_0 > 10$. Значения $\frac{\Delta t_\alpha}{t_\alpha}$,

рассчитанные по формуле (21), в зависимости от отношения r/t_0 и угла α , представлены в табл.2.

Таблица 2. Зависимость относительной погрешности $\Delta t_\alpha/t_\alpha$ от отношения r/t_0 и угла α .

r/t_0	α , град		
	0	15	30
10	0	0,0007	0,0015
20	0	0,0016	0,0047
50	0	0,0021	0,0065
100	0	0,0022	0,0072
r/t_0	α , град		
	45	60	75
10	-0,0024	-0,0205	-0,0751
20	0,0040	-0,0109	-0,0631
50	0,0077	-0,0053	-0,0562
100	0,0090	-0,0035	-0,0538

Из табл.2 следует, что при выбранном значении коэффициента $K=0,7$ в результате аппроксимации изменение глубины резания на большей части профиля круга не превышает 1% и только на крайних участках достигает 7,5% (при $r/t_0=10$). При шлифовании резьбы даже с небольшими глубинами резания ($t_0=0,3$ мм) эти изменения не превышают 0,01 мм, что является довольно малой величиной.

Согласно исследованиям [20, 21 и др.], посвященным работоспособности абразивных кругов, свойства кругов одной маркировки и даже в пределах одного круга колеблются в широком диапазоне, что приводит при шлифовании одного и того же материала с одинаковыми режимами обработки к значительному разбросу интенсивности износа круга. Поэтому можно предположить, что изменения глубины резания на боковых участках, вызванные аппроксимацией расчетного профиля дугой окружности, не приведут к существенному изменению интенсивности износа. Так, согласно формуле (4) износ круга U прямо пропорционален величине t^x . При шлифовании резьбы ходовых винтов $x=1,6$. Тогда изменение глубины резания на 7,5% приведет к изменению интенсивности износа $\sim 12\%$, что является несущественной долей поля рассеивания значений U [20, 22]. Поэтому с достаточной для практики степенью точности расчетный сложный профиль можно аппроксимировать дугой окружности.

Выводы

В результате теоретических исследований разработан способ повышения стабильности профиля круга за счет увеличения износа круга на боковых участках путем увеличения на них глубины резания. Для реализации способа разработана математическая модель процесса шлифования резьбы, обеспечивающего сохранение профиля круга. Эта модель представляет

собой зависимость профиля резьбовой канавки, поступающей на шлифование, от радиуса профиля круга и глубины резания на его вершине. Профиль резьбовой канавки, обеспечивающей стабильность профиля круга в процессе его износа, является сложным. С малой погрешностью этот профиль можно аппроксимировать дугой окружности. Это позволяет упростить конструкции правящих устройств и контрольно-измерительных приборов для проверки профиля резьбы и круга.

Разработанные зависимости и формулы получены с использованием результатов исследований износа круга при шлифовании плоских и цилиндрических поверхностей стальных заготовок. Поэтому разработанная математическая модель требует экспериментальной проверки в условиях шлифования резьбы ходовых винтов качения и при необходимости соответствующего ее уточнения.

Список литературы

1. Леликов О.П. Шариковые винтовые передачи (продолжение) / О.П. Леликов // Справочник. Инженерный журнал. – 2003. – № 2. – 28 с.
2. Изнаиров Б.М. Технологическое обеспечение надежности передач ВГК / Б.М. Изнаиров // Прогрессивные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. / СГТУ. – Саратов, 1996. – С.18–21.
3. Збарский Ю.Ш. Влияние погрешностей изготовления на жесткость передач винт-гайка качения / Ю.Ш. Збарский, В.Г. Фомкин, М.Б. Шкапенюк // Металлорежущие станки, 1976. – Вып.4. – С.25–32.
4. Du Z. Study of the dynamic characteristics of ball screw with a load disturbance / Z. Du., X-L Zhang, T. Tao // Mathematical Problems in Engineering. – 2016. – Vol. 1. – P. 1-10.
5. Назин В.И. Проектирование механизмов с передачей винт-гайка / В.И. Назин. – Харьков: ХАИ, 2006. – 123 с.
6. Xu N. Modeling analysis and experimental study for the friction of a ball screw / N. Xu, W. Tang, Y. Chen, Y. Guo // Mechanism and Machine Theory. – 2015, – Vol. 87, – P. 57-69.
7. Klocke F. Manufacturing Processes 2. Grinding, Honing, Lapping / F. Klocke. – Springer-Verlag, Publ., 2009. – 451 p.
8. Ларшин В.П. Бесприжоговое шлифование резьбы ходовых винтов / Е.А. Дьячкова, А.В. Ларшина // Труды Одесского политехнического университета, 2008. – № 1, С. 81-85.
9. Malkin S. Grinding technology. Theory and applications of machining with abrasives / S. Malkin, C. Guo. – New York: Industrial press, 2008. – 372 p.
10. Акимов В.Л., Шлифование ходовых винтов пар качения. / В.Л. Акимов, Д.Ф. Шпотаковский, В.А. Орлова // Абразивы. – 1974. – №2. – С. 23-26.
11. Киселев Е.С. Теплофизика правки шлифовальных кругов с применением СОЖ / Е.С. Киселев. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 170 с.
12. Русавский Ю.П. Технология производства шариковых передач винт-гайка качения / Ю.П. Русавский, Н.В. Соболева, М.Б. Шкапенюк. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.
13. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов / Е.Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
14. Богущий В.Б., Изменение характеристик рабочей поверхности шлифовального круга за период его стойкости / В.Б. Богущий, Л.Б. Шрон // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19, – № 2. – С. 66 – 74.
15. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С.Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.
16. Филимонов Л. Н. Стойкость шлифовальных кругов / Л.Н. Филимонов – Л.: Машиностроение, 1973. – 136с.
17. Мубаракшин Р.М. Исследование процесса и разработка методов повышения качества и производительности профильного шлифования. Дисс. канд. техн. наук. Одесса, 1978. – 239 с.
18. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью шлифования без прижогов с учетом затупления инструмента / Е.П. Калинин. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 358 с.
19. Худобин Л.В. Минимизация засаливания шлифовальных / Л.В. Худобин, А.Н. Унянин. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с.
20. Marinescu I.D. Tribology of abrasive machining processes / W.B. Rowe, B. Dimitrov, I. Inasaki. – Cover Art Publ., 2012. – 600 p.
21. Резников А.Н. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник / А. Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1977. – 391с.
22. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2012. – 304с.

References

1. Lelikov O.P. Ball screw drives (continued). Appendix to the journal. *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2003, No. 2, 28 p.
2. Iznairov B.M., Vasin A.N. The technological reliability of VGK gears. *Progressivnye napravleniya razvitiya tekhnologii mashinostroeniya* [In the collection Progressive directions of development of mechanical engineering technology], Saratov, SGTU Publ., 1996, pp.18-21.

3. Zbarskij YU.SH., Fomkin V.G., SHkapenyuk M.B. The influence of manufacturing errors on the stiffness of the screw-nut rolling gears. *Metallorazhishchivanie stanki* [Metal-cutting machines], Kiev, 1976, Issue 4, pp.25-32.
4. Du Z., Zhang X-L., Tao T. Study of the dynamic characteristics of ball screw with a load disturbance. *Matematicheskie zadachi v mashinostroenii*, 2016, Vol. 1, pp. 1-10.
5. Nazin V.I. *Proektirovanie mekhanizmov s peredachej vint-gajka* [Design of mechanisms with screw-nut transmission]. Kharkov, KhAI, 2006, 123 p.
6. Xu N., Tang W., Chen Y., Guo Y. Modeling analysis and experimental study for the friction of a ball screw. *Mechanism and Machine Theory*, 2015, Vol. 87, pp. 57-69.
7. Klocke F. *Manufacturing Processes 2. Grinding, Honing, Lapping*. Springer-Verlag Publ., 2009. 451 p.
8. Larshin V.P., D'yachkova E.A., Larshina A.V. Stripless grinding of the thread of the lead screws. *Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta* [Proc. of the Odessa Polytechnic University], Odessa, Polytechnic University Publ., 2008, No. 1, pp. 81-85.
9. Malkin S., Guo C. *Grinding technology*. Theory and applications of machining with abrasives. New York, Industrial press, 2008. 372 p.
10. Akimov V.L., SHpotakovskij D.F., Orlova V.A. Grinding lead screws for rolling pairs. *Abrazivy*, 1974, No. 2, pp. 23-26.
11. Kiselev E.S. *Teplofizika pravki shlifoval'nyh krugov s primeneniem SOZH* [Thermophysics of dressing grinding wheels using coolant]. Ul'yanovsk, UIGTU, 2000, 170 p.
12. Rusavskij YU.P., Soboleva N.V., SHkapenyuk M.B. *Tekhnologiya proizvodstva sharikovyh peredach vint-gajka kacheniya* [Technology for the production of ball screw – nut rolling gears]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1985, 128 p.
13. Maslov E.N. *Teoriya shlifovaniya materialov* [Theory of grinding materials]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1985, 128 p.
14. Boguckij V.B., SHron L.B. Changing the characteristics of the working surface of the grinding wheel for the period of its durability. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Mashinostroenie»*, 2019, Vol. 19, No. 2, pp. 66-74.
15. Korchak S.N. *Proizvoditel'nost' processa shlifovaniya stal'nyh detalej* [The performance of the grinding process of steel parts]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1974, 280 p.
16. Filimonov L. N. *Stojkost' shlifoval'nyh krugov* [The durability of grinding wheels]. Leningrad, Mechanical engineering Publ., 1973, 136 p.
17. Mubarakshin R.M. *Issledovanie processa i razrabotka metodov povysheniya kachestva i proizvoditel'nosti profil'nogo shlifovaniya*. Diss. kand. tekhn. nauk. Odessa, 1978, 239 p.
18. Kalinin E.P. The theory and practice of grinding performance management without burning, taking into account blunting of the tool. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2009, 358 p.
19. Hudobin L.V., Unyanin A.N. *Minimizatsiya zasalivaniya shlifoval'nyh* [Minimize salting grinding]. Ul'yanovsk, UIGTU, 2007, 298 p.
20. Marinescu I.D., Rowe W.B., Dimitrov B., Inasaki I. *Tribology of abrasive machining processes*. Cover Art Publ., 2012. 600 p.
21. Reznikov A. N. *Abrazivnaya i almaznaya obrabotka materialov. Spravochnik* [Abrasive and diamond processing of materials. Directory]. Moscow, Mechanical engineering Publ., 1977, 391 p.
22. Novoselov YU.K. *Dinamika formoobrazovaniya poverhnostej pri abrazivnoj obrabotke*. Sevastopol, SevNTU Publ., 2012, 304 p.

УДК 621.774.3

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УГЛА СТВОРА МАТРИЦЫ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ТРУБ НА ВЕЛИЧИНУ ПРЕСС-ОСТАТКА МЕТОДОМ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

С.И. Кравцова¹, Н.Г. Митичкина²

¹ студент, ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», пр. Ленина, 16, г. Алчевск, 94204, Луганская Народная Республика, kravtsosveta@gmail.com

² канд. техн. наук, ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», пр. Ленина, 16, г. Алчевск, 94204, Луганская Народная Республика, nmitichkina@yandex.ua

Аннотация

Метод прямого горячего прессования часто используется для получения труб из легированных и труднодеформируемых сталей. Процесс отличается большой точностью изготовления профиля, простотой конструкции прессовой установки, хорошей проработкой литой структуры заготовки, однако характеризуется

высокой неравномерностью деформации и относительно большими геометрическими отходами, связанными с наличием так называемого пресс-остатка. В статье приведены результаты исследования влияния угла створа матрицы при прямом горячем прессовании труб из гильзы (сталь 08X18H10T) на величину пресс-остатка методом математического моделирования в программном комплексе DEFORM 2D. Для этого в среде КОМПАС-3D создан прессовый комплект. Рассмотрено два значения угла створа матрицы — 90° и 120° . Оценка величины геометрических отходов производилась путем сравнения масс пресс-остатков. При использовании угла створа матрицы 120° пресс-остаток уменьшился на 3%, то есть исследования показали незначительное влияние угла створа матрицы на величину пресс-остатка. Адекватность модели оценена на основании сравнительного анализа течения металла в конечно-элементной модели процесса прямого прессования сплошной заготовки из свинца и при проведении эксперимента на образцах аналогичных размеров из свинца марки С4.

Ключевые слова: прессование, матрица, напряжение, труба, пуансон, деформация, заготовка, металл, угол, пресс-остаток.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE MATRIX CASE ANGLE WHEN PRESSING PIPES ON THE SIZE OF PRESS RESIDUE BY THE FINITE-ELEMENT SIMULATION METHOD

S.I. Kravtsova¹, N.G. Mitichkina²

¹ student, SEI HPE LPR "Donbass State Technical University", Lenin Av., 16, Alchevsk, 94204, Lugansk People Republic, kravtsovsveda@gmail.com

² cand. of eng. sciences, SEI HPE LPR "Donbass State Technical University", Lenin Av., 16, Alchevsk, 94204, Lugansk People Republic, nmitichkina@yandex.ua

Abstract

The direct hot pressing method is often used to produce pipes from alloyed and difficult to deform steels. The process is characterized by great accuracy in the manufacture of the profile, the simplicity of the design of the press unit, a good study of the cast structure of the workpiece, but it is characterized by high unevenness of deformation and relatively large geometric waste associated with the presence of the so-called press residue. The article presents the results of a study of the influence of the angle of alignment of the matrix during direct hot pressing of pipes from a sleeve (steel 08X18H10T) on the value of the press balance by mathematical modeling in the DEFORM 2D software package. For this, a press kit was created in the KOMPAS-3D environment. Two values of the alignment angle of the matrix are considered, 90° and 120° . The geometric waste value was estimated by comparing the masses of press residues. When using a die angle of 120° , the press balance decreased by 3%, that is, studies showed no significant effect of the die angle on the size of the press balance. The adequacy of the model was evaluated on the basis of a comparative analysis of the metal flow in the finite element model of the direct compression process of a solid blank of lead and during the experiment on samples of similar sizes from lead grade C4.

Keywords: pressing, die, stress, pipe, punch, deformation, billet, metal, angle, press balance.

Процесс горячего прессования часто используют для получения труб из легированных и труднодеформируемых сталей [1]. Процесс отличается большой точностью изготовления профиля, простотой конструкции прессовой установки, хорошей проработкой литой структуры металла и т.д. Однако имеются и значительные недостатки: большая величина потерь на отходах металла, большая неравномерность механических свойств по длине и поперечному сечению изделия, низкая производительность процесса, обусловленная небольшими скоростями истечения металла.

Большая величина геометрических отходов связана, в первую очередь с потерями металла на пресс-остаток, поэтому определение влияния геометрии очага деформации на величину пресс-

остатка при прессовании труб является актуальной задачей.

Прямое прессование — очень энергоемкая операция, вызывающая большую неравномерность деформации, при определенных условиях может приводить к появлению дефектов, таких как ершистость, утяжины и т.д. В процессе прессования на плоской матрице в заготовке возникает так называемая «мертвая зона», приводящая к большому концевому отходу (пресс-остаток). Чтоб создать более благоприятные условия для течения металла применяют матрицы со скосом [2]. Однако не оценено влияние угла створа матрицы на величину отхода.

Экспериментальные исследования обычно связаны со значительными материальными затратами, поэтому целесообразно использование

для исследований современных программных комплексов, таких, как DEFORM 2D. Создание математической модели позволяет существенно сэкономить ресурсы и получить более точные данные, однако неизбежны погрешности, обусловленные невозможностью полного соблюдения всех условий физического подобия. Таким образом, важной задачей является создание адекватной конечно-элементной модели.

Для этого произведено конечно-элементное моделирование процесса прямого прессования сплошной заготовки из свинца и проведен эксперимент на свинцовых образцах с аналогичными геометрическими параметрами.

Экспериментальные исследования проводились на свинцовых образцах марки С4, диаметром $D_{обр}=22,2$ мм, и высотой $H_{обр}=48,8$ мм. Для исследования поля течения металла методом координатной сетки образец был разделен на два полуцилиндра, на один из которых штангенрейсмусом была нанесена координатная сетка с шагом 2 мм (рис.1, а). Прессование велось через разъемную матрицу, диаметр которой составлял $D_{мат}=14$ мм, калибрующий пояс 10 мм, а угол наклона $\alpha_m=25^\circ$. В стадии установившегося течения процесс остановили и инструмент разобрали. В результате деформации ячейки координатной сетки изменяются в размерах неравномерно по диаметру и длине. В зоне матрицы формируется очаг пластической деформации. Продольные линии до деформации остаются продольными и после неё. Поперечные линии искривляются, искривление начинается до входа в очаг деформации. Это говорит о том, что центральные слои текут быстрее периферийных. На это же указывает выпуклость переднего торца. Поперечные линии координатной сетки, прямые до деформации, изгибаются после деформации, приобретая вид парабол. Интенсивность искривления увеличивается от центра к периферии и характеризуется возрастанием углов между касательными к параболам и перпендикуляром к оси. Искривление линий происходит за счет действия сдвиговых напряжений (рис.1, б). Таким образом, напряжения сдвига увеличиваются от центра к периферии, что совпадает с данными работ [3-4].

Для построения модели в программном комплексе DEFORM 2D были использованы следующие физико-механические свойства свинца: плотность (ρ), равная $11,34 \text{ т/м}^3$, модуль упругости (E), равный $0,17 \cdot 10^5$, коэффициент Пуассона (μ), равный 0,42. Коэффициент трения был взят одинаковый и для матрицы и для пуансона и составил 0,15. Данная модель учитывает осесимметричность моделируемого

процесса относительно оси ОУ. Для ее создания в пакете программы КОМПАС в формате CAD была вычерчена матрица, пуансон и заготовка с размерами, совпадающими с инструментами, использованными для натурного эксперимента. Матрица и пуансон представлены в виде аналитически жестких тел, а заготовка — пластичным телом. Разработанная модель характеризуется рядом допущений, благодаря которым значительно упрощается постановка задачи. Так, материал представляется изотропным с равномерным распределением химических элементов по всему объему заготовки. Результаты экспериментальных данных по течению металла визуальны совпадают с полученными в программном комплексе DEFORM 2D, что позволяет сделать вывод о том, что моделирование адекватно (рис.1).

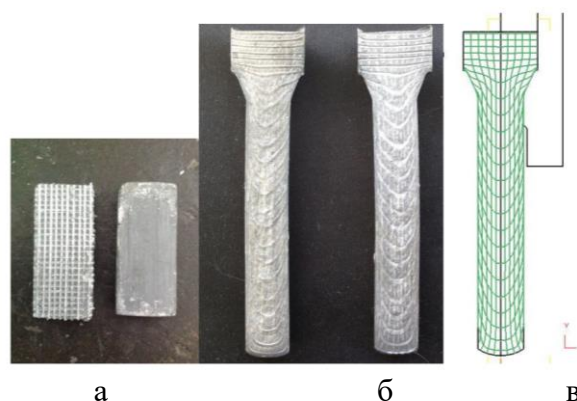


Рис. 1. Картина течения металла при прямом прессовании сплошной заготовки из свинца марки С4; а — заготовка до деформации, б — пресс-изделие, в — математическая модель.

Для изучения влияния угла створа матрицы на течение металла и объем отхода произведено моделирование в программном комплексе DEFORM 2D процесса прямого прессования полый гильзы в трубу.

Моделирование процесса прессования выполнено с использованием модели заготовки из стали 08Х18Н10Т, диаметром заготовки $D_3=184$ мм с диаметром сверленного отверстия 25 мм, длина трубы $L_T=5500$ мм, наружный диаметр $D_T=83$ мм, толщина стенки $S_T=9$ мм, диаметром матрицы $D_m=84$ мм (с радиусом скругления $r_m=6$ мм).

Материалы представляются изотропными с равномерным распределением химических элементов по всему объему заготовки. Прессовый инструмент представлен в виде аналитически жесткого тела.

Для осуществления процесса вытяжки используем следующие свойства материалов:

плотность материалов — 7900 кг/м^3 для стали, трение между контактными поверхностями задаем 0,4 по Зибелю, производим разбиение сетки от значения в 2000 элементов. Аналог используемой стали в программном комплексе AISI 321.

При описании базовых моделей учитывается осесимметричность моделируемого процесса относительно оси ОУ, используются четырехугольные билинейные элементы типа SAH4R. Для повышения качества получаемых результатов применена формулировка Лагранжа, которая реализуется адаптацией сетки некоторой области деформируемого материала. Обработка металла — горячая.

На рис. 2 показан прессовый комплект в сборе.

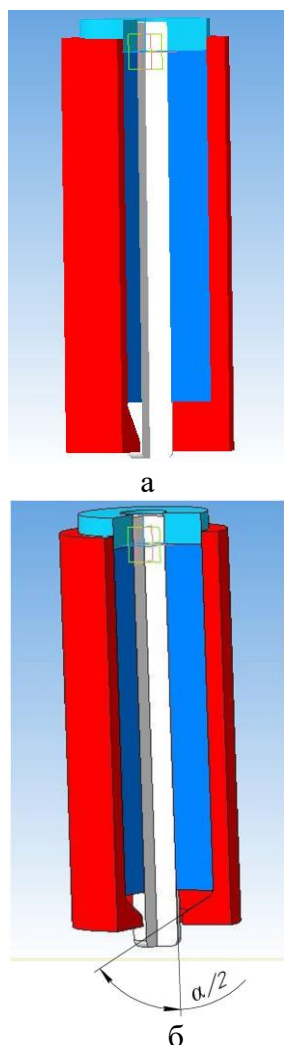


Рис. 2. Прессовый комплект в сборе: а — угол створа матрицы $\alpha=90^\circ$; б — угол створа матрицы $\alpha=120^\circ$.

Рассмотрим два варианта углов створа матрицы 90° и 120° .

Во время моделирования в DEFORM 2D, можно следить за течением материала и любого

из выбранных параметров (деформация, скорость деформации, напряжения, температура и т.д.).

Для определения высоты пресс-остатка используем рис. 3, на котором изображено распределение интенсивности напряжений при прессовании полой заготовки с углом створа матрицы 90° . В пресс-остаток включаем очаг деформации, так как при дальнейшем прессовании и его уменьшении возникают большие нагрузки, зоны напряжений сливаются, что может привести к поломке пресса. Во избежание этого процесс приостанавливают чуть раньше и металл, находящийся еще в контейнере и матрице удаляется как пресс-остаток.

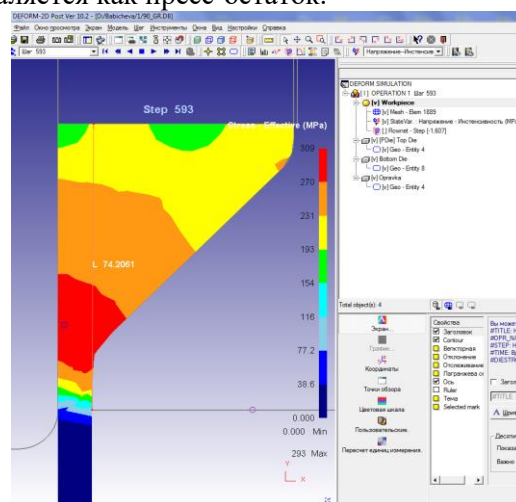


Рис. 3. Интенсивность напряжений при прессовании трубной заготовки при угле створа матрицы 90° .

Для определения этой высоты в ПостПроцессоре DEFORM 2D, открываем файлы баз данных на последнем шаге расчета, в окне выбора параметров выбираем «Интенсивность Напряжений» и, используя пошаговую перемотку назад моделируемого процесса, анализируем распределение напряжений по очагу деформации. Момент окончания процесса прессования считаем по наличию под пуансоном в заготовке значительных (больше 200 МПа) напряжений. Для определения высоты пресс-остатка (относительно нижнего края матрицы), воспользуемся кнопкой панели инструментов DEFORM 2D «Измерить». Измеренная высота составила 74,2 мм.

На рис. 4 изображено распределение интенсивности напряжений при прессовании трубной заготовки с углом створа матрицы 120° . Реальная высота пресс-остатка составила 61,9 мм.

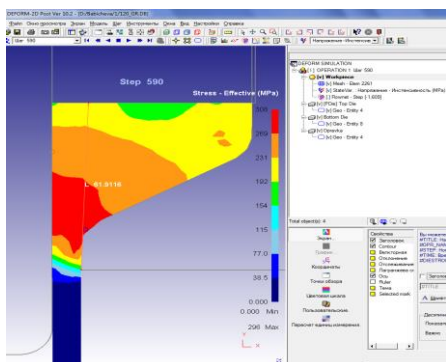


Рис. 4. Интенсивность напряжений при прессовании трубной заготовки с углом створа матрицы 120° .

Масса пресс-остатка для матрицы с углом створа 90° составила 6,16 кг, а для матрицы с углом створа 120° — 5,978 кг (рис. 5).

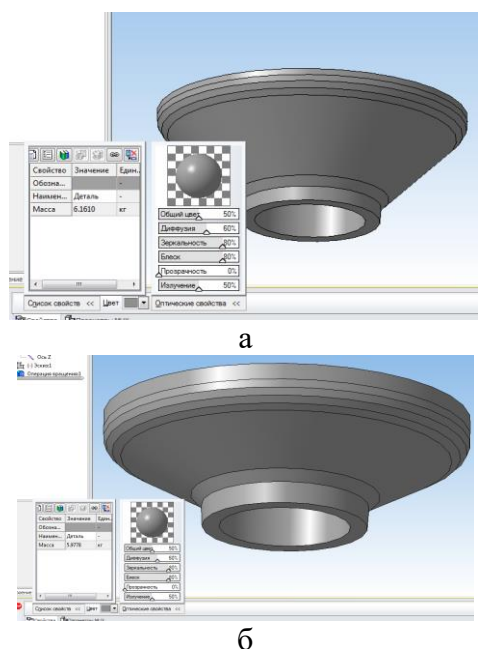


Рис. 5. Величина пресс-остатка:

- а — при прессовании с углом створа матрицы 90° ;
б — при прессовании с углом створа матрицы 120° .

Список литературы

1. Баричко Б.В. Технология процессов прессования: учебное пособие / Б.В. Баричко, Я.И. Космацкий, К.Ю. Панова // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 70 с.
2. Медведев М.И. Исследование и совершенствование процесса прессования труб / М.И. Медведев, Ю.Г. Гуляев, С.А. Чукмасов. – М.: Металлургия, 1986. – 151 с.
3. Головкин А.Н. Влияние параметров геометрии матрицы на качество толстостенных пресс-изделий / А.Н. Головкин, И.О. Науменко, Р.О. Козак // Вестник №3Е, 2008. – 210с.
4. Щерба В.Н. Прессование алюминиевых сплавов / В.Н. Щерба // Интернет Инжиниринг, 2001. – 768с.

References

1. Barichko B.V. Press Technology: A Tutorial. Chelyabinsk YUrgU Publ., 2011, 70 p.
2. Medvedev M.I. Research and improvement of the pipe pressing process. Moscow, Nauka Publ., 1986, 151 p.
3. Golovko A.N. Influence of matrix geometry parameters on the quality of thick-walled press products. Vestnik, 2008, Issue 3E
4. Scherba V.N. Aluminum alloy pressing. Internet Ingining, 2011, 768 p.

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ

А.С. Зворыгин¹, М.А. Борисов², О.С. Рафанова³

¹ студент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail: zvor95@yandex.ru

² доцент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail: borisovmgou@mail.ru

³ зав. межкафедральной лабораторией ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г. Чебоксары, пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015

Аннотация

Электрофизические и электрохимические методы обработки конструкционных материалов непосредственно электрическим током, электролизом и их сочетанием с механическим воздействием находят широкое использование в промышленности. Это обусловлено высокой производительностью, возможностью выполнять технологические операции, недоступные простым механическим методам обработки. Наиболее продуктивным способом, является метод электрохимического шлифования. Для осуществления процесса электрохимического шлифования используются электролиты разного состава с различными свойствами и присадками, но не все они безопасны для здоровья человека, наиболее предпочтительным в использовании является электролит на основе NaCl, но его влияние при различных концентрациях и различной плотности тока на обработку нержавеющей стали не достаточно углубленно изучено. Данный метод высокоэффективно используется для обработки деталей из особо твердых, хрупких или вязких материалов, таких как жаропрочные, твердые и титановые сплавы, нержавеющие и закаленные стали. С появлением таких материалов и улучшением свойств нержавеющей сталей требуется усовершенствование и исследование методов электрохимического шлифования. Для исследований необходимо воспроизвести все происходящие процессы. В работе поясняется потребность и необходимость в разработке, проектировании стенда, а так же подборе сопутствующего оборудования, материалов. Необходимо определить режимы работы и вольтамперные характеристики, что позволит смоделировать и осуществить процесс электрохимического шлифования более продуктивно, и даст возможность исследовать все возникающие явления.

Ключевые слова: конструкционные материалы, разработка стенда, электрохимическая обработка, труднодоступные поверхности, электролит, обработка металла, машиностроение.

STAND FOR RESEARCH OF THE PROCESS OF ELECTROCHEMICAL GRINDING

A.S. Zvorygin¹, M.A. Borisov², O.S. Rafanova³

¹ student of FSBEI of HE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanova", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: zvor95@yandex.ru

² Associate Professor FSBEI HE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanova", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: borisovmgou@mail.ru

³ head interdepartmental laboratory of FSBEI of HE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanova", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015

Annotation

The electrophysical and electrochemical methods of processing structural materials directly by electric current, electrolysis, and their combination with mechanical action are widely used in industry. This is due to high productivity, the ability to perform technological operations inaccessible to simple mechanical processing methods. The most productive way is the method of electrochemical grinding. To carry out the process of electrochemical grinding, electrolytes of different compositions with different properties and additives are used, but not all of them are safe for human health, the most preferable to use is an NaCl-based electrolyte, but its effect at various concentrations and different current densities on stainless steel processing is not enough studied in depth. This method is highly efficiently used for machining parts made of particularly hard, brittle or viscous materials, such as heat-resistant, hard and titanium alloys, stainless and hardened steels. With the advent of such materials and the improvement of the properties of stainless steels, the improvement and research of electrochemical grinding methods is required. For research, it is necessary to

reproduce all the ongoing processes. The work explains the need and need for the development, design of the stand, as well as the selection of related equipment, materials. It is necessary to determine the operating modes and current-voltage characteristics, which will allow us to simulate and implement the process of electrochemical grinding more productively, and will make it possible to investigate all the phenomena that arise.

Keywords: construction materials, stand development, electrochemical processing, profile hard-to-reach surfaces, electrolyte, metal processing, mechanical engineering.

Финишная обработка деталей применяется во всех отраслях промышленности. Одним из методов финишной обработки является электрохимическое шлифование. ЭХШ высокоэффективно для обработки деталей из особо твердых, хрупких или вязких материалов (жаропрочные, твердые и титановые сплавы, нержавеющие и закаленные стали). Данный метод нашел широкое применение и используется для обработки конструктивно сложных узлов и деталей (лопатки газовых турбин, штампы, прессформы, литформы, внутренние каналы и полости деталей), для удаления заусенцев и скругления острых кромок и для получения высококачественной, в том числе полированной, поверхности деталей.

Известные разновидности электрохимической обработки можно классифицировать по двум определяющим признакам - механизму самого процесса разрушения металла и способу удаления из рабочей зоны продуктов реакции.

Исходя из этого, можно назвать три основных направления, по которым идет развитие и внедрение электрохимических методов обработки: электро-химико-гидравлическая (анодно-гидравлическая) обработка, электрохимико-механическая обработка и комбинированные методы обработки.

Наиболее предпочтительным является метод электрохимической обработки, который основан на анодном растворении металла и удалении продуктов реакции с обрабатываемой поверхности и из рабочей зоны при помощи абразивного инструмента и потока электролита. К этому виду обработки относятся электрохимическое шлифование (электроабразивная или электроалмазная обработка), электрохимическая обработка с нейтральным абразивом (шлифование, хонингование и полирование) и анодно-абразивная обработка. При электроабразивной и электроалмазной обработке съем металла осуществляется не только за счет реакции анодного растворения, но также и зернами абразива или алмаза [1-7].

Как и во всех процессах электрохимической обработки, основными компонентами являются электролит, анодный электрод заготовки и катодный электрод инструмента.

Преимуществом указанной обработки является высокая производительность и стойкость инструмента. Например, при электроалмазном шлифовании твердых сплавов производительность обработки в 1,5-2 раза выше, чем при алмазном шлифовании, а износ алмазного круга меньше в 1,5-2 раза. При этом резко понижается температура поверхностного слоя, благодаря чему полностью исключается появление трещин и прижогов металла, что повышает качество обработанной поверхности [8-13].

Помимо этого в процессе электрохимического шлифования важную роль играет состав электролита и его свойства. Электролит обеспечивает протекание химических и электрических реакций. Кроме этого электролит, как и обыкновенная смазывающе-охлаждающая жидкость, используется для охлаждения обрабатываемой детали, облегчения процесса резания, удаления продуктов растворения и шлама из рабочей зоны. Многообразие функций, выполняемых электролитом, обусловило и множество требований к нему. Так, состав электролита должен исключить возможность образования нерастворимых продуктов, которые пассивировали бы поверхность детали. Необходимо учитывать и электродную реакцию на катоде, ведущую к засаливанию инструмента.

Исходя из того, что при электрохимическом шлифовании используются значительные плотности тока, во избежание потерь энергии электролиты должны обладать высокой электропроводностью, хорошими смачивающими свойствами, что позволяет им лучше удерживаться на поверхности и попадать в требуемых количествах в межэлектродный зазор. В качестве основы электролитов, как правило, используют неорганические соли (NaCl), водные растворы которых обладают высокой электропроводностью и обеспечивают протекание электрохимических процессов. Не смотря на известность NaCl как основы электролита, не до конца исследованы его взаимодействия с различными сплавами в частности с нержавеющей сталью и при различных условиях проведения ЭХШ. Температурные характеристики электролита так же являются важными т.к. при

меньшей температуре возможно снижение эффективности, а при чрезмерно высокой возможны обратные негативные реакции.

Температурные режимы для каждой марки стали подбираются индивидуально. Дополнительно в растворе используются комплексообразователи, которые способствуют стабилизации процесса анодного растворения, переводя образующиеся продукты реакции в растворимые соединения.

Поверхностно-активные вещества, как и при обычном шлифовании, адсорбируются на обрабатываемой поверхности, проникают в мельчайшие микроскопические трещины в материале, расклинивают его и облегчают работу алмазных или абразивных зерен. Применяемые электролиты не должны оказывать сильного коррозионного воздействия на оборудование и обрабатываемую деталь. Для снижения коррозионного воздействия в растворы электролитов добавляются ингибиторы коррозии нитриты натрия или калия, йодистый калий, сегнетова соль, хроматы, бихроматы и фосфаты.

С развитием технологий и появлением новых металлов и сплавов, новых синтетических электролитов, ингибиторов коррозии, абразивных инструментов возникает потребность в поиске и исследовании ранее не известных или малоизвестных способов, режимов и условий проведения электрохимического шлифования [14-17].

В частности, для обеспечения высокого качества обработанной поверхности деталей из нержавеющей стали, необходимо определить такие оптимальные параметры процесса, как температуру электролита, концентрацию NaCl в растворе электролита и плотность тока.

Цель работы состоит в разработке, изготовлении и проверки работоспособности стенда для проведения исследований процессов электрохимического шлифования. Стенд, в том числе, предназначен для определения степени влияния температуры электролита, плотности тока и концентрации раствора NaCl на качество обработанной поверхности.

Стенд (рис.1) состоит из диэлектрического корпуса, привода линейного перемещения накопечника гравера с закрепленной в нем алмазной головкой, приспособления для закрепления заготовки, источника постоянного электрического тока и двух емкостей для электролита.

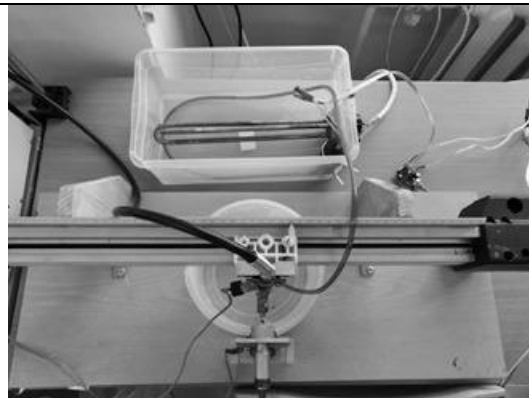


Рис. 1. Общий вид стенда

Привод линейного перемещения наконечника гравера позволяет варьировать величину продольной подачи инструмента от 0 до 500 мм/мин. Приспособление для закрепления заготовки (рис.2) оснащено микрометрическим винтом с ценой деления 0,001 мм. С его помощью настраивается глубина резания.



Рис. 2. Приспособление для закрепления заготовки (вид сверху)

Источник постоянного тока модели Atten APS3005D (рис.3) имеет возможность регулировки напряжения питания в пределах от 0 до 30В и силы тока от 0 до 5А.



Рис. 3. Источник постоянного тока

В емкость для электролита (рис.4) установлен ТЭН с терморегулятором (20-80 С°) и индикатором работы и насос для подачи готового электролита в рабочую зону.



Рис. 4. Емкость для электролита

Электролит подается насосом в рабочую зону с помощью трубки (рис.5) и сливается в приемную емкость.

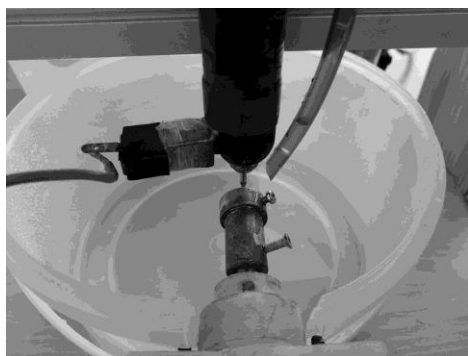


Рис. 5. Рабочая зона

Для проведения исследования используются круглые заготовки из нержавеющей стали (рис.6).

Список литературы

1. Скиба В. Ю. Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования = Hybrid metal working equipment: improving the effectiveness of the details processing under the integration of surface quenching and abrasive grinding : монография / В. Ю. Скиба, В. В. Иванцовский. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. - 312 с. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-3690-5.
2. Bratan S., Roshchupkin S., Revenko D. Probabilistic approach for modeling electroerosion removal of grinding wheel bond. В сборнике: Procedia Engineering 2017. P. 1426-1431.
3. Рычков Д.А., Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Базаркина В.В. Совершенствование технологии формообразования высокопрочных стекловолоконистых композиционных материалов на полимерной основе. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2012. № 3 (56). С. 150-153.
4. Борисов М.А. Гибридная технология электрохимической обработки сложнопровильных изделий/ Борисов М.А., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С.// Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2019. Т. 21. № 1. С. 25-34.



Рис. 6. Заготовки

Для проверки работоспособности изготовленного нами стенда было проведено его испытание при электрохимическом шлифовании заготовок диаметром 10 мм., изготовленных из стали 12х18н10т. При этом устанавливались следующие параметры процесса: температура электролита от 20 до 50 С°, плотность тока от 0,1 до 0,3 А/мм², концентрации раствора NaCl от 0,9 до 20%.

На рис. 7 приведены показания профилометра при измерении одного из обработанных образцов.

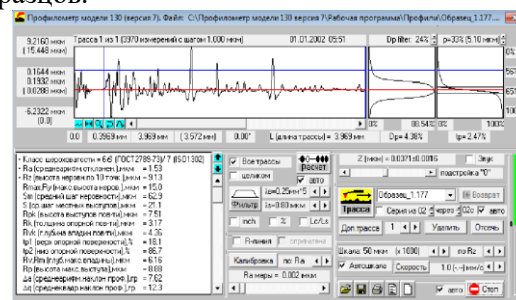


Рис. 7. Показания профилометра при измерении одного из обработанных образцов.

Вывод: Проведенные испытания разработанного и изготовленного нами стенда показали его работоспособность. Он может быть использован для определения степени влияния температуры электролита, плотности тока и концентрации раствора NaCl на качество обработанной поверхности.

5. Борисов М.А. Моделирование процесса автоматического управления температурой на лабораторном стенде/ Борисов М.А.// Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. Материалы I-ой Международной научно-практической конференции. Чебоксары. ЧГУ имени И.Н.Ульянова. 2015. с. 222-230.
6. Зворыгин А.С. «Трехмерная струйная электрохимическая обработка, основанная на анодном растворении металла»// В сборнике: Проблемы науки. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 150-летию Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева и 60-летию Ново-московского института РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковск, 2019. С. 54-58.
7. Погораздов В.В. Геометро-аналитическая поддержка технологий формообразования винтовых поверхностей: учеб. пособие / В.В. Погораздов, О.В. Захаров. Саратов: СГТУ, 2004. 72 с.
8. Захаров О.В. Управление точностью бесцентрового шлифования статистическими методами / О.В. Захаров // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 9. С. 32-35.
9. Носенко В.А., Тышкевич В.Н., Орлов С.В., Саразов А.В. Плоское шлифование торцов колец крупногабаритных подшипников с требуемым качеством поверхности. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2014. т. 14. № 4. С. 67-78.
10. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step "diamond smoothing" / V. Y. Skeebe, V. V. Ivancivsky, D. V. Lobanov, A. K. Zhigulev, P. Y. Skeebe // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol. 125, iss. 1. - Art. 012031 (8 p.). - DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.
11. Nosenko V.A., Nosenko S.V., Zhukov V.K., Vasilev A.A. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel. Russian Engineering Research. 2008. Т. 28. № 5. Р. 442-449.
12. Секлетина Л.С., Медведева О.И., Гартфельдер В.А., Янюшкин А.Р. Формирование поверхностных пленок при шлифовании твердых сплавов кругами на токопроводящих связках. Наука и техника Казахстана. 2018. № 3. С. 96-106.
13. Салов П.М., Цай В.Н., Сайкин С.С., Юрпалов Д.А., Виноградова Т.Г., Мулюхин Н.В., Андреева Е.А., Антонова Е.В., Салова Д.П. Деформации в технологической системе при шлифовании. Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 3. С. 44-46.
14. Борисов М.А. Разработка конструкции устройства для автоматического управления потоком жидкости, подаваемого к нескольким потребителям/ Борисов М.А., Мишин С.А.//Современные технологии в машиностроении и литейном производстве материалы III Международной научно-практической конференции. 2017. с. 201-206.
15. Борисов М.А. Разработка конструкции и алгоритма функционирования программируемого устройства для автоматического управления процессом выборочной доставки жидкости/ Борисов М.А., Григорьев В.С.//Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. Материалы II-ой международной научно-практической конференции. Чебоксары; Чуваш. гос. ун-т, 2016. с. 243-246.
16. Борисов М.А. Разработка конструкции программируемого устройства для автоматического управления согласованной работой серводвигателя и насоса/ Борисов М.А., Мишин В.А.// Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии. Материалы II-ой Республиканской научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; ФГБОУ ВПО "Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова". 2016. с. 104-110.
17. Борисов М.А. Устройство для электроабразивной обработки/ Борисов М.А., Дементьев Д.А., Мишин В.А.// Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2016. № 4. С. 101-102.
18. Борисов М.А. Разработка меню устройства для автоматического управления потоком жидкости/ Борисов М.А., Мишин С.А.// В сборнике: Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Под редакцией И.Е. Илларионова. 2018. С. 498-502.

References

1. Skiba V. Yu. Gibridnoe metalloobrabatyvayushchee oborudovanie: povyshenie ehffektivnosti tekhnolo-gicheskogo protsessa obrabotki detalei pri integratsii poverkhnostnoi zakalki i abrazivnogo shlifova-niya = Hybrid metal working equipment: improving the effectiveness of the details processing under the integra-tion of surface quenching and abrasive grinding : monografiya / V. Yu. Skiba, V. V. Ivantsivskii. - Novosi-birsk : Izd-vo NGTU, 2018. - 312 s. - 100 ehkz. - ISBN 978-5-7782-3690-5.
2. Bratan S., Roshchupkin S., Revenko D. Probabilistic approach for modeling electroerosion removal of grinding wheel bond. В сборнике: Procedia Engineering 2017. P. 1426-1431.
3. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Bazarkina V.V. Sovershenstvovanie tekhnologii formoob-razovaniya vysokoprochnnykh steklovoloknistykh kompozitsionnykh materialov na polimernoi osnove. Ob-rabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty). 2012. № 3 (56). S. 150-153.
4. Borisov M.A. Gibridnaya tekhnologiya ehlektrokhimicheskoi obrabotki slozhnoprofil'nykh izdelii/ Bo-risov M.A., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S.// Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumen-ty). 2019. Т. 21. № 1. S. 25-34.
5. Borisov M.A. Modelirovanie protsessa avtomaticheskogo upravleniya temperaturoi na laboratornom stende/ Borisov M.A.// Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve. Materialy I-oi Mezhdunarodnoi nauch-no-prakticheskoi konferentsii. Cheboksary. CHGU imeni I.N.Ul'yanova. 2015. s. 222-230.

6. Zvorygin A.S. «Trehmernaya struinaya ehlektrokhimicheskaya obrabotka, osnovannaya na anodnom rastvorenii metallA»// V sbornike: Problemy nauki. Materialy Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 150-letiyu Periodicheskoi sistemy khimicheskikh ehlementov D.I. Mendeleeva i 60-letiyu Novomoskovskogo instituta RKHTU im. D.I. Mendeleeva. Novomoskovsk, 2019. S. 54-58.
7. Pogorazdov V.V. Geometro-analiticheskaya podderzhka tekhnologii formoobrazovaniya vintovykh poverkhnostei: ucheb. posobie / V.V. Pogorazdov, O.V. Zakharov. Saratov: SGTU, 2004. 72 s.
8. Zakharov O.V. Upravlenie tochnost'yu bestsentrovogo shlifovaniya statisticheskimi metodami / O.V. Zakharov // Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. 2009. № 9. S. 32-35.
9. Nosenko V.A., Tyshkevich V.N., Orlov S.V., Sarazov A.V. Ploskoe shlifovanie tortsov kolets krupnoga-baritnykh podshipnikov s trebuemym kachestvom poverkhnosti. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Mashinostroenie. 2014. t. 14. № 4. S. 67-78.
10. Integrated processing: quality assurance procedure of the surface layer of machine parts during the manufacturing step "diamond smoothing" / V. Y. Skeebe, V. V. Ivancivsky, D. V. Lobanov, A. K. Zhigulev, P. Y. Skeebe // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol. 125, iss. 1. - Art. 012031 (8 p.). - DOI: 10.1088/1757-899X/125/1/012031.
11. Nosenko V.A., Nosenko S.V., Zhukov V.K., Vasilev A.A. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel. Russian Engineering Research. 2008. T. 28. № 5. P. 442-449.
12. Sekletina L.S., Medvedeva O.I., Gartfel'der V.A., Yanyushkin A.R. Formirovanie poverkhnostnykh plenok pri shlifovanii tverdykh splavov krugami na tokoprovodyashchikh svyazkakh. Nauka i tekhnika Kazakh-stana. 2018. № 3. S. 96-106.
13. Salov P.M., Tsai V.N., Saikin S.S., Yurpalov D.A., Vinogradova T.G., Mulyukhin N.V., Andreeva E.A., Antonova E.V., Salova D.P. Deformatsii v tekhnologicheskoi sisteme pri shlifovanii. Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya. 2016. № 3. S. 44-46.
14. Borisov M.A. Razrabotka konstruktssii ustroistva dlya avtomaticheskogo upravleniya potokom zhidkosti, podavaemogo k neskol'kim potrebitelyam/ Borisov M.A., Mishin S.A.//Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. 2017. s. 201-206.
15. Borisov M.A. Razrabotka konstruktssii i algoritma funktsionirovaniya programmiruemogo ustroistva dlya avtomaticheskogo upravleniya protsessom vyborochnoi dostavki zhidkosti/ Borisov M.A., Grigor'ev V.S.//Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve. Materialy II-oi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Cheboksary; Chuvash. gos. un-t, 2016. s. 243-246.
16. Borisov M.A. Razrabotka konstruktssii programmiruemogo ustroistva dlya avtomaticheskogo upravleniya soglasovannoi rabotoi servodvigatelya i nasosa/ Borisov M.A., Mishin V.A.// Proektirovanie i perspektivnye tekhnologii v mashinostroenii i metallurgii». Materialy II-oi Respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Ministerstvo obrazovaniya i nauki RF; FGBOU VPO "Chuvashskii gosudarstvennyi universitet im. I.N. Ul'yanova" 2016. s. 104-110.
17. Borisov M.A. Ustroistvo dlya ehlektroabrazivnoi obrabotki/ Borisov M.A., Dement'ev D.A., Mishin V.A.// Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii. 2016. № 4. S. 101-102.
18. Borisov M.A. Razrabotka menyuu ustroistva dlya avtomaticheskogo upravleniya potokom zhidkosti/ Borisov M.A., Mishin S.A.// V sbornike: Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve. Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Pod redaktsiei I.E. Illarionova. 2018. S. 498-502.

УДК 621.01

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ В УСЛОВИЯХ ПЛАВУЧИХ МАСТЕРСКИХ

В.М. Круглов¹ студент, Е.А. Владецкая² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: wolkrug8@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: vladetska@rambler.ru

Аннотация

В статье рассмотрены результаты исследований в направлении совершенствования станочного оборудования для высокоточной обработки деталей в условиях плавучих мастерских путем повышения виброустойчивости технологической системы и снижения вредных воздействий от внешней среды (морского волнения) и соседнего работающего оборудования. Проанализированы традиционные виброизолирующие опоры современных станков, которые невозможно использовать на плавучих мастерских по причине потери ими функционирования в условиях качки плавучего основания и горизонтальных смещений под ее воздействием. Раз-

ные способы установки обеспечивают различную степень чувствительности станка к колебаниям основания и возмущениям, действующим в станке. Чем ниже частоты собственных колебаний, определяемые жесткостью опор и массой системы, тем выше степень виброизоляции. На палубах плавучих мастерских, как правило, фиксация станков, в том числе и расточных, обеспечивается фундаментом, который не обеспечивает достаточного уровня виброизоляции вследствие значительных колебательных воздействий. Эта задача может быть решена за счет рационального выбора и расчета системы виброизоляции и применения средств виброизоляции с оптимальными свойствами. Необходимо проведение специальных исследований и совершенствование существующих виброизолирующих в том числе на основе разработки штанговых виброгасителей, посредством шарниров, соединяющих колонну и станину расточного станка в продольном и в поперечном направлениях с поверхностью палубы плавучей мастерской.

Ключевые слова: виброустойчивость, виброизолирующие опоры, плавучие мастерские, расточные станки, штанговые виброгасители.

IMPROVING THE VIBRATION RESISTANCE OF BORING MACHINES IN THE CONDITIONS OF FLOATING WORKSHOPS

V.M. Kruglov¹ student, E.A. Vladetskaya² cand. sc. tech.

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: wolkrug8@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: vladetska@rambler.ru

Abstract

The article discusses the results of research in the direction of improving machine equipment for high-precision machining of parts in the conditions of floating workshops by increasing the vibration resistance of the technological system and reducing the harmful effects of the external environment (sea waves) and surrounding operating equipment. The traditional vibration-isolating supports of modern machine tools that cannot be used in floating workshops due to their loss of functioning under the rolling pitch of a floating base and horizontal displacements under its influence are analyzed. Different installation methods provide a different degree of sensitivity of the machine to base vibrations and disturbances acting in the machine. The lower the frequencies of natural vibrations, determined by the rigidity of the supports and the mass of the system, the higher the degree of vibration isolation. On the decks of floating workshops, as a rule, the fixation of machine tools, including boring ones, is provided with a foundation that does not provide a sufficient level of vibration isolation due to significant vibrational influences. This problem can be solved by rational selection and calculation of the vibration isolation system and the use of vibration isolators with optimal properties. It is necessary to carry out special studies and improve existing vibration isolators, including on the basis of the development of rod vibration dampers, by means of hinges connecting the column and foundation of the boring machine in the longitudinal and transverse directions to the surface of the floating workshop deck.

Keywords: vibration resistance, vibration isolating supports, floating workshops, boring machines, rod vibration dampers.

1. Введение

Современное развитие производства сопровождается повышением мощности и скоростных характеристик машин при одновременном возрастании их надежности и точности. Для этого необходимо повышение качества изготовления деталей, улучшение геометрических и физико-механических свойств их поверхностного слоя, определяющее эксплуатационные характеристики машин. Геометрические погрешности, шероховатость, волнистость обрабатываемой поверхности, существенно влияют на контактную жесткость, износостойкость, герметичность соединений, шум и другие показатели.

Для регионов, в которых осуществляется базирование флота, характерно наличие таких мобильных мини-заводов, как плавучие мастерские (ПМ) и рейдовые плавучие мастерские (ПМР) (рис. 1, а), на палубах которых размещены различные участки, в том числе и механообрабатывающие, имеющие практически все виды станочного оборудования, включая расточные станки (рис. 1, б). Квалифицированный личный состав ПМ включает до 150 рабочих-станочников и инженеров, способных выполнять сложные работы по изготовлению и модернизации высокотехнологичных изделий, узлов и агрегатов (производственная мощность – 225 000 нормо-часов в год), в том числе и специального назначения в районах, удалённых от основных пунктов базирования. Особенно-

стью эксплуатации такого оборудования является наличие вибраций, вызванных действием различных источников, приводящее к снижению точности и чистоты обработки, а также другим нарушениям технологических процессов.

Наличие колебаний в отклонениях формы, расположения шероховатости и волнистости поверхности, объясняется возмущающими воздействиями в технологических процессах, вызванных нестабильностью технологической системы. То есть нестабильность параметров деталей определяется воздействием в процессе их производства на технологическую систему (ТС) изменяющихся внешних факторов, часть из которых неизвестна и не контролируется в процессе обработки. Эта проблема особенно актуальна, в том числе и для расточных станков, работающих на механообрабатывающих участках плавучих мастерских.

2. Основная часть

Одним из путей повышения качества обработки деталей в условиях плавучих мастерских является ослабление вынужденных колебаний станка, передаваемых от внешних источников – соседнего технологического оборудования, компрессоров, насосов, транспортных и грузозачно-разгрузочных устройств. Необходимо учитывать также такие воздействия внешней среды, как колебания водной поверхности, передающие вибрационные воздействия через плавучее основание и поверхность палубы на оборудование. Возникающие вибрации снижают также надежность оборудования, вызывая различные параметрические отказы и отказы функционирования. От этих факторов в немалой степени зависят фактическая производительность и технико-экономическая эффективность станка, а уровень шума и вибраций, возникающих при его работе, определяет безопасность и удобство работы персонала, занимающегося эксплуатацией станка.

В этой связи снижение уровня вынужденных колебаний станка за счет повышения эффективности виброизоляции на основе исследований процесса обработки и с учетом мероприятий, принимаемых на этапах проектирования, является актуальной задачей, решение которой обеспечит высокие технологические показатели процесса, особенно актуальные на высокоточных операциях, в частности, при растачивании в условиях плавучих мастерских.



а



б

Рис. 1. Общий вид рейдовой плавучей мастерской (а) и станочного оборудования (б) механообрабатывающих участков (горизонтально-расточной станок)

Одной из основных причин возникновения волнистости являются вибрации технологической системы (ТС) «станок–приспособление–инструмент–деталь», приводящие к рассогласованию заданной траектории и действительной траектории движения заготовки и инструмента. В ТС кроме перемещений заготовки и инструмента, предусмотренных кинематикой станка есть множество микродвижений – колебаний (вибраций) отдельных звеньев технологической системы, приводящих к рассогласованию траекторий относительного движения заготовки и инструмента.

Собственные (свободные) колебания происходят в системе после внешнего возмущения [1, 2]. Они характеризуются частотой собственных колебаний:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}};$$

логарифмическим декрементом:

$$\frac{fT_D}{m} = \ln \left(\frac{x}{x_1} \right),$$

где k – коэффициент жесткости; m – масса; f – коэффициент сопротивления и демпфирования; T_d – демпфированный период; x, x_1 – последующие амплитуды.

Собственные колебания детали, установленной в приспособлении станка, зависят от размеров, конфигурации, материала, характера зажатия и базирования.

Вынужденные колебания происходят под действием внешних периодических сил. Эти силы обусловлены процессом резания при снятии неравномерного припуска, обработке прерывистых поверхностей, работе инструмента или вызваны источником, находящимся вне зоны резания, например, работой рядом стоящего другого оборудования и транспорта, микросейсмическими процессами, неуравновешенностью вращающихся элементов системы (электродвигателей, заготовки, инструмента и приспособлений), дефектами ременных, зубчатых и других передач.

Действие гармонической внешней силы:

$$F(t) = F_a \cos \Omega t,$$

где F_a – амплитуда; Ω – частота вынужденных колебаний.

Оно уравнивается силой инерции M_x , силой сопротивления f_x и силой упругости k_x :

$$M\ddot{x} + f\dot{x} + kx = F(t).$$

Действие сил сопротивления такого вида называют демпфированием. Амплитуда вынужденных колебаний (если собственными затухающими колебаниями пренебречь) определяется по формуле:

$$A_B = \frac{F_a}{\sqrt{(k - M\Omega^2)^2 + (f\Omega)^2}} = \frac{F_a}{M\sqrt{(\omega^2 - \Omega^2)^2 + \left(\frac{\Omega f}{M}\right)^2}}$$

Значение амплитуды максимально при $\Omega/\omega \rightarrow 1$, когда система приближается к резонансу. Условием нормального протекания процесса механической обработки является соотношение:

$$0,7 > \frac{\Omega}{\omega} > 1,3.$$

При одновременном действии нескольких возмущающих сил вынужденные колебания многокомпонентны. Параметрические колебания вызываются периодическим изменением какого-либо физического параметра системы (массы, жесткости и т.д.). Автоколебания воз-

никают в системе при отсутствии внешнего периодического воздействия и протекают на частотах, близких к собственным частотам. В зависимости от базы отсчета различают абсолютные и относительные колебания. Абсолютные колебания, отсчитываемые обычно от земли, измеряются сейсмическими датчиками. Относительные колебания фиксируют перемещения элементов ТС относительно друг друга.

Однако даже оснащение плавучих мастерских станками, имеющими классы точности – П, В, А, С, не обеспечивает достижения заявленных показателей точности и качества при обработке из-за наличия вибраций, вызванных действием различных источников. При этом часть внешних факторов, влияющих на технологическую систему станка до настоящего времени не изучена и не контролируется в процессе обработки.

Цель виброизоляции прецизионных станков – обеспечить состояние, при котором колебания между инструментом и заготовкой и (или) в измерительной системе при заданных колебаниях основания не превышали бы допустимых величин.

Виброизоляцию можно осуществлять как непосредственной установкой станка на упруго-деформирующие элементы (виброизолирующие опоры), так и с использованием вспомогательных устройств. В большинстве случаев виброизоляции станков необходимо решать противоречивую задачу: обеспечить минимальную передачу вибраций (т.е. минимальные собственные частоты системы, что связано с большими статическими деформациями опор) при максимальной устойчивости станка по отношению к воздействиям со стороны оператора и к ударам при работе вспомогательных механизмов самого станка. Эта задача решается рациональным выбором и расчетом системы виброизоляции (т.е. типа и расположения виброизолирующих опор и вспомогательных устройств) и применяемых средств виброизоляции (виброизолирующих опор) с оптимальными характеристиками [3].

Основные технические параметры виброизоляторов: собственная частота f_z ; величина демпфирования (логарифмический декремент – δ); соотношения между значениями жесткости в разных направлениях:

$$\eta_x = k_z / k_x, \quad \eta_y = k_z / k_y,$$

где k_x, k_y, k_z – коэффициенты жесткости опор в соответствующих направлениях по осям координат X, Y, Z); тип устройства для регулирования высоты установки (для виброизолиру-

ющих опор); долговечность упругого элемента (по ползучести, по усталости, по старению, по стойкости к агрессивным средам) [4].

Исследования принципов виброизоляции прецизионного оборудования [5] показывают, что, обобщая множество измерений в механических цехах различных предприятий, можно считать вибрационный фон «белым шумом» в диапазоне частот $4...35 \text{ Гц}$ для вертикального и $2,5...25 \text{ Гц}$ для горизонтального направления. В связи с этим качество виброизоляции характеризуется для каждого направления X, Y, Z «критериями виброизоляции» Φ_1 . Для вертикального направления:

$$\Phi_{1z} = \frac{f_z}{\sqrt{\delta}} \leq \sqrt{\frac{a_0 f_1^2}{\pi \Delta_0 Y_{f1}}},$$

где f_z – собственная частота; δ – логарифмический декремент системы виброизоляции; Δ_0 – допустимое смещение в зоне обработки; a_0 – амплитуда колебаний пола; Y_{f1} – отношение амплитуды колебаний в зоне обработки к амплитуде колебаний станины в соответствующем направлении, измеренное при частоте f_1 .

При $\delta = 0,6$ надежная виброизоляция алмазно-расточных, универсально-расточных, станков обеспечивается при $f_z \leq 20 \text{ Гц}$ при среднем и $f_z \leq 15 \text{ Гц}$ – при повышенном уровне колебаний; прецизионных токарных станков – $f_z \leq 25...35 \text{ Гц}$ при среднем, $20...25 \text{ Гц}$ – при повышенном уровне колебаний.

Виброактивное оборудование, опасное для прецизионных станков – это вспомогательное оборудование (компрессоры, вентиляторы, насосы, транспортно-загрузочные устройства и т.п.), создающие гармоническое воздействие на основание с частотой вращения приводимых двигателей ($f = 12...48,5 \text{ Гц}$) и оборудование, создающее импульсное воздействие на основание (кузнечно-прессовое оборудование, долбежные и строгальные станки и т.п.). Для виброизоляции оборудования первого типа из рассмотрения одноосной схемы виброизоляции обычно рекомендуется выбирать $f_z \leq (0,2...0,25)f$. Анализ системы виброизоляции с учетом возбуждения и ослабления колебаний по направлениям основных собственных форм колебаний (вертикальные, низкие формы горизонтально-качательных в плоскостях XZ и YZ , крутильные относительно оси Z) показывает, что для уменьшения виброактивности в 5 раз необходимо $f_z \leq 5f$. Для виброизоляции виброактивного оборудования с импульсным характером воздействия на основание необходимо

обеспечить собственную частоту системы виброизоляции в пределах [4]:

$$f_{y,\alpha} \leq \frac{n_{\max}}{15} [\text{Гц}],$$

где $n_{\max}$ – наибольшее число двойных ходов минуту.

Увеличение демпфирования целесообразно во всех случаях виброизоляции, поскольку оно снижает резонансные амплитуды, ускоряет затухание переходного процесса и, в тоже время не ухудшает виброизоляции в резонансной зоне, поскольку демпфирование в большинстве упруго-демпфирующих материалов имеет гистерезисный характер.

В последние десятилетия для установки станков, оказывающих динамическое воздействие на окружающую среду, для установки высокоточных, чувствительных к колебаниям оснований станков, а также многих станков общего назначения предпочтение отдается упругим виброизолирующим опорам. При таком способе установки монтаж станка производится во много раз быстрее, повышается качество обработанных поверхностей на прецизионных станках, снижается шум и запыленность воздуха в цехах. Такие опоры очень удобны при установке станков на перекрытиях верхних этажей зданий, при перестановке станков в связи с изменением технологического процесса и т.п. Опоры различных конструкций выпускаются в нашей стране и за рубежом многими фирмами. Станок может устанавливаться также на связанном со станиной фундаментном бетонном блоке, который опирается на резиновые коврики; на связанном со станком фундаментном блоке, который опирается на пружинные опоры и демпферы. Во втором и третьем вариантах установки основанием для упругих опор служат бетонные коробки, опирающиеся на грунт или межэтажные перекрытия [6].

Однако антивибрационный монтаж третьего типа, когда станок притягивается фундаментными болтами к опорным пружинам или резиновым цилиндрам, а блок фундамента должен быть окружен глубокими траншеями, применяется редко [7, 8].

Подбор упругих элементов в этом случае существенно затруднен, а при недостаточно тщательном подборе или при изменении режима работы станка упругие элементы могут вызывать даже усиление вибраций. В случаях, когда требуется особо высокая чистота обработанной поверхности, в качестве наиболее рациональных вариантов могут служить фундамент с пружинной виброизоляцией с применением

спиральных пружин (рисунок 2, а, б), тросовых, спирально-тросовых и тросово-резиновых виброизоляторов (в, г, д), а также коврики и прокладки спирально-тросовые, резиново-эластомерные и резиновые (е, ж, з).

Виброизоляторы применяются для гашения колебаний, создаваемых работой механизмов, в частности приводами передачи мощности и движения, а также колебаний, появляющихся во втулках, подшипниках и т.д. при их износе. Поскольку от качества виброизоляции станка во время его работы зависит не только качество обработанной поверхности (ее волнистость, шероховатость), но и выполнение стандартов по охране труда, то отсюда следует, что в условиях ужесточения требований по допускам в вышеуказанных стандартах требуется производить модернизацию виброизолирующих устройств, опор и ковриков.

Пневматические виброизолирующие опоры фирмы «Vibrodynamics» имеют разные конструктивные исполнения и рекомендованы для широкой гаммы технологического оборудования – от кузнечно-прессового до координатно-измерительных машин. Однако, сложность конструкции пневмоэлементов, узкий диапазон частот демпфируемых колебаний в каждом конкретном исполнении виброизолирующих опор (серий «L», «K» и «M»), а также ограниченный ресурс и низкая несущая способность сдерживают их применение в условиях производства.

Применение различных упругих опор позволяет получать различные собственные частоты вертикальных колебаний станка f_0 :

1) для $f_0 \geq 25 \text{ Гц}$ – прокладки из резины, пробки, фетра, пластмасс и т.п.;

2) для $25 \text{ Гц} \geq f_0 \geq 10 \text{ Гц}$ – резиновые и резинометаллические опоры, в которых резина работает на сжатие;

3) $10 \text{ Гц} \geq f_0 \geq 5 \text{ Гц}$ – резинометаллические опоры, в которых резина работает на сдвиг, опоры из объемной металлической сетки;

4) для $f_0 \leq 10 \text{ Гц}$ – спиральные или листовые стальные пружины.

Частоту собственных колебаний f_0 можно определить по формуле [2]:

$$f_0 = 5 \sqrt{\frac{k}{\Delta_{cm}}}, [\text{Гц}]$$

где k – отношение жесткости опоры при колебаниях к жесткости при статическом нагружении (динамический коэффициент); Δ_{cm} – статическая деформация опор от веса станка.

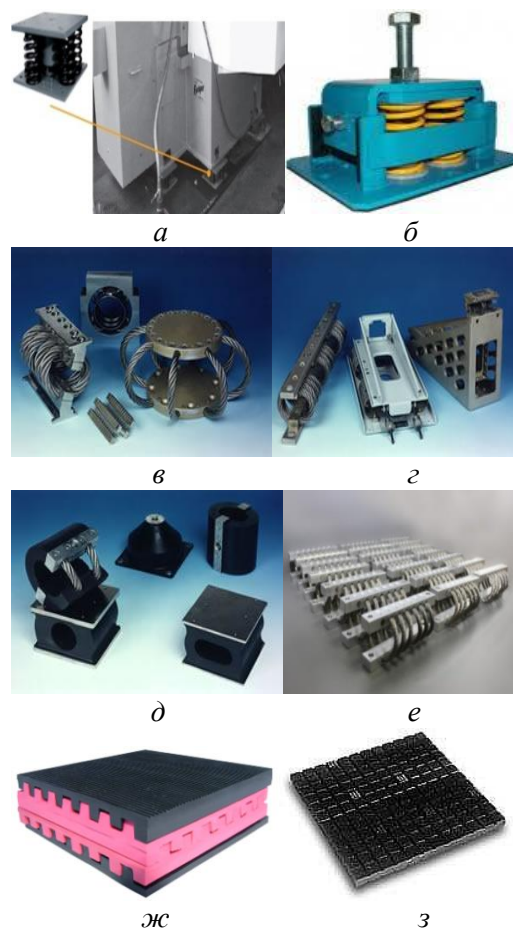


Рис. 2. Виброизолирующие устройства современных станков: а, б – с применением спиральных пружин; в, г, д – тросовые, спирально-тросовые и тросово-резиновые виброизоляторы; е, ж, з – коврики и прокладки спирально-тросовые, резиново-эластомерные и резиновые.

Неправильный выбор виброизолирующих опор может привести к усилению вибраций, если окажется, что f_0 и частота возмущающей силы f близки. Для обеспечения пассивной виброизоляции (т.е. изоляции станка от колебания основания) высокоточных, в том числе расточных станков, значения f необходимо определять в результате специальных исследований, не исключая возможности совершенствования конструкций существующих виброизолирующих опор и разработки принципиально новых, более рациональных вариантов их исполнения. При упругой установке станок изолирован от внешней среды. При этом влияние внешних возмущений на работоспособность станка меньше, но уровень перемещений и колебаний от возмущений, действующих в станке – больше.

Разные способы установки обеспечивают различную степень чувствительности станка к колебаниям основания и возмущениям, дей-

ствующим в станке. Чем ниже частоты собственных колебаний, определяемые жесткостью опор и массой системы, тем выше степень виброизоляции. При одних и тех же частотах собственных колебаний системы чем больше масса системы и жесткость опор, тем ниже уровень колебаний, вызываемых работой механизмов станка. В соответствии с этим наиболее эффективным, но и наиболее дорогим средством виброизоляции, применяемым для особо точных станков, являются фундаменты на пружинах, а наиболее дешевым, обеспечивающим удовлетворительную степень виброизоляции для большинства станков средних размеров, упругие виброизолирующие опоры [9].

Однако ни один из вышеприведенных типов виброизолирующих опор и устройств не приемлем в условиях плавучих мастерских для расточных станков в силу особенностей эксплуатации при значительных внешних воздействиях и возможностью горизонтальных смещений оборудования при качке плавучего основания. На палубах плавучих мастерских, как правило, фиксация станков, в том числе и расточных, обеспечивается фундаментом, который не обеспечивает достаточного уровня виброизоляции вследствие значительных колебательных воздействий, как от внешнего оборудования, так и от внешней среды через плавучее основание и поверхность палубы. Традиционные виброизолирующие опоры станков,

проанализированные ранее, не могут быть использованы на плавучих мастерских по причине невозможности их функционирования в условиях качки плавучего основания и горизонтальных смещений под ее воздействием.

3. Заключение

В большинстве случаев виброизоляции станков необходимо решать противоречивую задачу – обеспечить минимальную передачу вибраций при максимальной устойчивости станка по отношению к воздействиям со стороны оператора и к вибрациям при работе вспомогательных механизмов станка и других устройств, оборудования и воздействий внешней среды. Эта задача может быть решена за счет рационального выбора и расчета системы виброизоляции и применения средств виброизоляции с оптимальными свойствами. В этой связи, необходимо проведение специальных исследований [10, 11], не исключая возможности совершенствования существующих виброизолирующих опор и создания принципиально новых, более рациональных вариантов их исполнения, в том числе на основе разработки штанговых виброгасителей, посредством шарниров, соединяющих колонну и станину расточного станка в продольном и в поперечном направлениях с поверхностью палубы плавучей мастерской.

Список литературы

1. Магнус К. Колебания / К. Магнус. – М.: Мир, 1982. – 302 с.
2. Орликов М.Л. Динамика станков / М.Л. Орликов. – К.: Вища школа, 1989. – 272 с.
3. Решетов Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков. [в 2 т.] / [Д.Н. Решетов, В.В. Калинская, А.С. Липидус и др.]; под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1972. – Т.2. – 520 с.
4. Ривин Е.И. Виброизоляторы и системы установки оборудования с автоматическим регулированием. / Е.И. Ривин. – М.: НИИМАШ, 1971. – 236 с.
5. Каминская В.В. Расчётный анализ динамических характеристик станков разных компоновок / В.В. Каминская, А.В. Еремин // Станки и инструмент, 1985. – №7, – С. 3-6.
6. Проников А.С. Точность и надежность станков с числовым программным управлением / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1982. – 246 с.
7. Вибрации в технике / [Асташев В.К., Бабицкий В.И., Быховский И.И. и др.]; под ред. К.Ф. Фролова. – Справочник в 6 томах. – М.: Машиностроение. – 1981. – 454 с.
8. Прилуцкий В.А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей / В.А. Прилуцкий. – М.: Машиностроение, 1998. – 136 с.
9. Фундаменты и виброизолирующие опоры станков. Динамические расчеты установки станков на фундаментах и виброизолирующих опорах по заданным относительным перемещениям инструмента и изделия. Руководящие материалы. – М.: ЭНИМС, 1985. – 584 с.
10. Братан С.М. Обеспечение качества деталей при круглом шлифовании в условиях плавучих мастерских / С.М. Братан, А.О. Харченко, Е.А. Владецкая // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018. – Т. 22, № 12 (143). – С. 21-34.
11. Братан С.М. Анализ и синтез системы виброизоляции шлифовального станка с учетом эксплуатационной надежности ее элементов / С.М. Братан, А.О. Харченко, Е.А. Владецкая // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2019. – Том 21, №1. – С. 35-49. doi: 10,17212/1994-6309-2019-21.1-35-49.

References

1. Magnus K. Kolebaniya (*Oscillations*) / K. Magnus. – M.: Mir, 1982. – 302 s.
2. Orlikov M.L. Dinamika stankov (*Dynamics of machines*) / M.L. Orlikov. – K.: Vishcha shkola, 1989. – 272 s.
3. Reshetov D.N. Detali i mekhanizmy metallovezhushchikh stankov. (Details and mechanisms of metal cutting machines) [v 2 t.] / [D.N. Reshetov, V.V. Kalinskaya, A.S. Lapidus i dr.]; pod red. D.N. Reshetova. – M.: Mashinostroyeniye, 1972. – T.2. – 520 s.
4. Rivin Ye.I. Vibroizolyatory i sistemy ustanovki oborudovaniya s avtomaticheskimi regulirovaniyem (Vibration isolators and systems for installing equipment with automatic regulation) / Ye.I. Rivin. – M.: NIIMASH, 1971. – 236 s.
5. Kaminskaya V.V. Raschetnyy analiz dinamicheskikh kharakteristik stankov raznykh komponentov (*Calculation analysis of dynamic characteristics of machines of different layouts*) / V.V. Kaminskaya, A.V. Yeregin // Stanki i instrumenty, 1985. – №7, – S. 3-6.
6. Pronikov A.S. Tochnost' i nadezhnost' stankov s chislovym programmnyim upravleniyem (*The accuracy and reliability of numerically controlled machines*) / A.S. Pronikov. – M.: Mashinostroyeniye, 1982. – 246 s.
7. Vibratsii v tekhnike (*Vibrations in technology*) / [Astashev V.K., Babitskiy V.I., Bykhovskiy I.I. i dr.]; pod red. K.F. Frolova. – Spravochnik v 6 tomakh. – M.: Mashinostroyeniye. – 1981. – 454 s.
8. Prilutskiy V.A. Tekhnologicheskiye metody snizheniya volnistosti poverkhnostey (*Technological methods for reducing the undulation of surfaces*) / V.A. Prilutskiy. – M.: Mashinostroyeniye, 1998. – 136 s.
9. Fundamenty i vibroizoliruyushchiye opory stankov. Dinamicheskiye raschety ustanovki stankov na fundamentakh i vibroizoliruyushchikh oporakh po zadannym odnositel'nym peremeshcheniyam instrumenta i izdeliya (Foundations and vibration isolating machine supports. Dynamic calculations of the installation of machines on the foundations and vibration isolating supports for given relative movements of the tool and product). Rukovodystashchiye materialy. – M.: ENIMS, 1985. – 584 s.
10. Bratan S.M. Obespecheniye kachestva detaley pri kruglom shlifovanii v usloviyakh plavuchikh masterskikh (Quality assurance of parts during circular grinding in the conditions of floating workshops) / S.M. Bratan, A.O. Kharchenko, Ye.A. Vladetskaya // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2018. – T. 22, № 12 (143). – S. 21-34.
11. Bratan S.M. Analiz i sintez sistemy vibroizolyatsii shlifoval'nogo stanka s uchedom ekspluatatsionnoy nadezhnosti yeye elementov (Analysis and synthesis of the vibration isolation system of a grinding machine, taking into account the operational reliability of its elements) / S.M. Bratan, A.O. Kharchenko, Ye.A. Vladetskaya // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovaniye, instrumenty). 2019. – Tom 21, №1. – S. 35-49. doi: 10.17212/1994-6309-2019-21.1-35-49.

УДК 621.757

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СБОРКИ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, СОДЕРЖАЩИХ ФТОРОПЛАСТОВЫЕ КОЛЬЦА

И. И. Бабилов¹ студент, А. Ю. Тараховский² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: spider.a@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: aytarakhovskiy@sevsu.ru

Аннотация

В статье приведены результаты теоретических исследований в области сборочных процессов машиностроительного производства, а также области изготовления фторопластовых колец. Рассмотрены основные требования и критерии выбора уплотнительных элементов для установки во внутреннюю канавку ответственного соединения. В работе представлена методика выбора уплотнительных устройств в виде морфологической матрицы, где продемонстрированы все возможные варианты уплотнительных изделий. Данная методика является примером системного подхода к решению задач проектирования. Акцентируется внимание на таких показателях, как рабочая температура, форма сечения кольца, обработка после установки, и т.д. Определено, что для успешной установки фторопластового кольца во внутреннюю канавку исполнительного органа, необходима его предварительная деформация. Однако ввиду того, что данный материал при определенной нагрузке способен разрушаться, была предложена концепция его изготовления в качестве разрезного кольца типа шайбы Гровера. Такая технология дает возможность установить уплотнительный элемент без риска разрушения и необратимого деформирования кольца, что снижает риск преждевременного выхода обо-

рудования из строя, и позволяет сэкономить материальные и энергетические ресурсы. Помимо фторопластового кольца в канавке также устанавливается эластичный кольцевой элемент, который по мере износа фторопластового кольца, осуществляет его поджатие, увеличивая срок эксплуатации.

Ключевые слова: машиностроение, сборочные операции, уплотнения, пневмопривод, гидропривод, фторопласт, манжетное уплотнение, герметичность, автоматизация производства, производство.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE ASSEMBLY PROCESS OF SEALING DEVICES CONTAINING FLUOROPLASTIC RINGS

I. I. Babikov¹ student, A. Y. Tarakhovskiy² cand. sc. tech

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: spider.a@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: aytarakhovskiy@sevsu.ru

Abstract

The article presents the results of theoretical research in the field of assembly processes of machine-building production, as well as in the field of manufacturing of fluoroplastic rings. The main requirements and criteria for selecting sealing elements for installation in the inner groove of the responsible connection are considered. The paper presents a method for selecting sealing devices, made up in the form of a morphological matrix, which demonstrates all possible options for sealing products. This method is an example of a systematic approach to solving design problems. Attention is focused on such indicators as the operating temperature, the shape of the ring cross-section, post-installation processing, etc. it is determined That for successful installation of the fluoroplastic ring in the inner groove of the Executive body, its preliminary deformation is necessary. However, due to the fact that this material is capable of breaking down under a certain load, the concept of making it as a split ring of the Grover washer type was proposed. This technology makes it possible to install the sealing element without the risk of destruction and irreversible deformation of the ring, which reduces the risk of premature equipment failure, and allows you to save material and energy resources. In addition to the fluoroplastic ring, an elastic ring element is also installed in the groove, which, as the fluoroplastic ring wears out, performs its compression, increasing the service life.

Keywords: mechanical engineering, assembly operations, seals, pneumatic drive, hydraulic drive , fluoroplast, cuff seal, tightness, production automation, production.

1. Введение

Сборочные процессы в машиностроении всегда отличались особыми требованиями к исполнению, занимая второе место по сложности исполнения после операции механической обработки деталей. При операции сборки соединений формируются основные показатели качества продукции, ее долговечность и надежность. При выполнении сборки изделий немаловажной является герметичность полученных соединений. Любая утечка газов, агрессивных жидкостей или воды может привести как к неисправности рабочего аппарата, так и к серьезной аварии.

Обеспечить герметизацию соединений помогают специальные уплотнения и прокладки, способствующие удержанию (воды и газов) в своей среде. От функционирования удерживающих элементов зависит работа гидро- и пневмоприводов, насосов, двигателей, роторных станций, применяемых в различных отраслях

машино- и приборостроения, авиапромышленности, кораблестроения. [1-2, 4]

В современных условиях производства, необходимый уровень эффективности и качества сборки достигается за счет внедрения и разработки новейшего сборочного оборудования. Научно доказано, что около 30% дефектов готовой продукции возникает за счет повреждения колец при выполнении операции сборки, поэтому качество установки уплотнений зависит от опыта и квалификации работника [3].

2. Основная часть

В зависимости от вида и типа собираемых изделий уплотнения могут быть подвижные и неподвижные, эластичные и жесткие, твердые и жидкие, и т.д.

Для сборки герметичных изделий (в частности гидро- и пневмоприводов), используются уплотнения из твердого полимера – фторопласта.

На данный момент в мире существует пять видов данного полимера:

- фторопласт-1 (поливинилифторид, 1 атом фтора);
- фторопласт-2 (поливинилиденфторид, 2 атома фтора);
- фторопласт-3 (политрифторхлорэтилен, 3 атома фтора);
- фторопласт-4 (политетрафторэтилен, 4 атома фтора);
- сополимеры (Фторопласт-32, Фторопласт-40, Фторопласт-42, Фторопласт-50).

Фторопласт-1 (ПВФ) – твердый полимер, обладающий высокой механической прочностью, стойкостью к большинству агрессивных сред, радиации, истиранию и многократным перегибам. Недостаток данного материала – низкая плотность $1,39 \text{ г/см}^3$, а также низкая температура изменения свойств материала $\pm 140^\circ\text{C}$.

Фторопласт-2 (ПВФД) – универсальный технический материал, пригодный для применения в нефтехимической, химической, металлургической, текстильной, фармацевтической и ядерной промышленности. Вместе с универсальностью применения присутствуют определенные недостатки, в частности ограниченный диапазон температур до $\pm 150^\circ\text{C}$, и температурой плавления $+177^\circ\text{C}$.

Фторопласт-3 (PCTFE) – высокомолекулярный гомополимер трифторхлорэтилена. Применяется исключительно в электротехнической промышленности.

Фторопласт-4 (Ф-4) – высокомолекулярный кристаллизованный материал. Обладает уникальной химической стойкостью, не изменяется даже при кипячении в смеси азотной и соляной кислоты ("царская водка"). Такое сочетание уникальных физических, химических, электроизоляционных, антифрикционных и других свойств, которыми обладает Ф-4, невозможно найти ни в каком другом материале. Главное достоинство материала – высокий интервал рабочих температур, от -269 до $+260^\circ\text{C}$.

Сополимеры (Фторопласт-32, Фторопласт-40, Фторопласт-42, Фторопласт-50) – вещества с повышенной радиационной устойчивостью, предназначенные для ядерной промышленности.

При выборе материала уплотнения акцентировалось внимание на таких критериях, как: применение в машиностроении, высокий диапазон рабочих температур и стоимость изделий. Наилучшую характеристику получил материал Фторопласт-4.

Достоинства материала:

- стойкость к минеральным и органическим кислотам, окислителям, щелочам, органи-

ческим растворителям, газам и различным агрессивным средам;

- высокая химическая стойкость, за счет высокого экранирующего эффекта электроотрицательных атомов фтора;

– высокая стойкость к разрушению. Разрушить материал могут лишь расплавы щелочных металлов, фтор и трехфтористый хлор при высоких значениях температуры;

- водонепроницаемость;
- низкое значение тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости;

- высокая стойкость к вольтовой дуге;
- стойкость к грибковой среде;

– помимо высокого диапазона рабочих температур, при температуре плавления, Ф-4 превращается в аморфный прозрачный материал, не переходящий из высокоэластичного в вязкотекучее состояние даже при температуре разложения ($+415^\circ\text{C}$);

- может использоваться как антиадгезионный материал, благодаря низкой поверхностной энергии;

- стойкость к сорбции веществ;
- высокая стойкость к окислению и способность пропускать УФ-лучи;

- исключительная стойкость к гидролизу;
- стойкостью к старению на протяжении более 20 лет;

- высокие антифрикционные свойства;
- высокий предел прочности при растяжении $220\text{--}250 \text{ кгс/см}^2$,

- относительное удлинение при разрыве $250\text{--}500 \%$.

При повышении температуры предел прочности при растяжении снижается и увеличивается относительное удлинение.

Сборочная операция осуществляется механически, с применением автоматизированного устройства. Основной проблемой при установке фторопластового кольца является его деформация, т.к. изделие помещается во внутреннюю канавку ответственного изделия. [5-7] Составляем морфологическую матрицу системы «Процесс сборки уплотнительного устройства» (табл. 1) для анализа и синтеза возможных вариантов установки кольца при сборке ответственного изделия [11].

Таблица 1. Морфологическая матрица системы «Процесс сборки уплотнительного устройства»

1. Минимальная рабочая температура, $t_{min}, ^\circ\text{C}$	2. Максимальная рабочая температура, $t_{max}, ^\circ\text{C}$	3. Форма сечения кольца
1.1. -50	2.1. +150	3.1. Прямоугольная
1.2. -100	2.2. +200	3.2. Квадратная
1.3. -150	2.3. +250	3.3. Круглая
1.4. -200	2.4. +300 и св.	3.4. Эллипс
4. Структура уплотнительного элемента	5. Дополнительная обработка после сборки кольца	6. Дополнительные уплотнения
4.1. Цельное кольцо	5.1. Сварка	6.1. Резиновое кольцо
4.2. Разомкнутое с прямым местом стыка	5.2. Склейка	6.2. Грязесъемник
4.3. Разомкнутое с косым местом стыка	5.3. Отсутствует	6.3. Манжетное уплотнение
		6.4. Отсутствует

Вариант I: 1.2.–2.3.–3.4.–4.3.–5.1.–6.2.

Вариант II: 1.3.–2.3.–3.2.–4.2.–5.2.–6.3.

Вариант III: 1.1.–2.1.–3.3.–4.1.–5.2.–6.4.

Вариант IV: 1.3.–2.4.–3.1.–4.3.–5.3.–6.1.

Вариант V: 1.2.–2.4.–3.1.–4.2.–5.3.–6.1.

Таблица 2. Реализация вариантов

Вариант	Обозначение
I	X_1
II	X_2
III	X_3
IV	X_4
V	X_5

По критерию возможности установки кольца во внутреннюю канавку изделия проведем парные сравнения и построим граф турнира вариантов:

$$X_1 < X_2 ! \quad X_2 > X_3 ! \quad X_3 < X_4 ! \quad X_4 > X_5 !$$

$$X_1 > X_3 ! \quad X_2 < X_4 ! \quad X_3 < X_5 !$$

$$X_1 < X_4 ! \quad X_2 < X_5 !$$

$$X_1 < X_5 !$$

Принимаем систему количественных соотношений, после чего проводим построение и заполняем матрицу смежности (таблица 3).

Список литературы

1. Классификация способов и устройств для автоматической сборки уплотнительных соединений в условиях гибкого автоматизированного производства. Тараховский А.Ю., Бабилов И.И., Тараховский А.А. Механики XXI века. 2018. № 17. С. 188-192.

Таблица 3. Матрица смежности

i	j					$\sum a_{ij}$	$P_i^{отн}$	Место
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5			
X_1	1	0,5	1,5	0,5	0,5	4	0,16	IV
X_2	1,5	1	1,5	0,5	0,5	5	0,2	III
X_3	0,5	0,5	1	0,5	0,5	3	0,12	V
X_4	1,5	1,5	1,5	1	1,5	7	0,28	I
X_5	1,5	1,5	1,5	0,5	1	6	0,24	II
Σ	-	-	-	-	-	25	1	-

Таким образом, наиболее рациональным является вариант III.

Кольцевой элемент выполняется в форме разрезного кольца [8-10], что позволяет успешно установить его в канавку ответственного механизма. Сварка или склейка стыка кольца после установки нецелесообразны, потому как после дополнительной обработки остается сварной или клееный шов, который необходимо зачистить или убрать. В качестве дополнительного элемента перед установкой фторопластового кольца в канавку помещается резиновое кольцо, которое поджимает основной уплотнительный элемент по мере его износа, что значительно увеличивает срок эксплуатации механизма, и исключает необходимость преждевременного ремонта по причине разгерметизации и утечки жидкостей или газов. Применение колец с круглым или эллиптическим сечением также нецелесообразно, т.к. в зазорах между штоком и кольцом будет активно скапливаться масло и грязь, что также влияет на скорость износа механизма.

3. Заключение

Предложенная методика выбора уплотнительного элемента с необходимыми параметрами, позволяет сэкономить время поиска наиболее рационального варианта изделия, и повысить срок эксплуатации ответственного механизма.

Рассмотренные в работе вопросы выбора уплотнительного элемента могут быть положены в основу последующих исследований, связанных с задачами сборки узлов, содержащих фторопластовые кольца.

2. Разработка устройства для сборки уплотнительных соединений типа "эластичный кольцевой элемент - канавка отверстия" Тараховский А.Ю. Механики XXI века. 2017. № 16. С. 178-181.
3. Устройство для установки упругих колец в наружные канавки базовых деталей : а. с. 492373 СССР : МПК51 В 23 Р 19/08 / Г.Ф. Торшков заявитель в патентообладатель. - №2021923 ;заявл. 30.04.1974 ;опубл. 25.11.1975, Бюл. №43. - С 32.
4. Типизация базовых деталей уплотнительных соединений (эластичная кольцевая деталь - - канавка отверстия) Тараховский А.А., Тараховский А.Ю. Механики XXI века. 2017. № 16. С. 189-194.
5. Устройство для установки пакета уплотнительных колец во внутренние канавки деталей :а. с. 1000213 СССР : МПК* В 23 Р 19/08 / В. Н. Жилиев, С. Б. Добрынин, Д. И. Родин, В. А. Граф, В. И.Бондарцев заявитель и патентообладатель Предприятие П/Я М-5671. - №3351566 ;заявл. 10.11.1981 ; 181 ; опубл. 28,02.1983, Бюл. №8. - С 8.
6. Устройство для установки эластичных колец : а. с. 806347 СССР : МПК21 В 23 Р 19/08 / Л. А. Рабинович, А. Н. Шерешевский заявитель и патентообладатель Волгоградский политехнический институт. - №2761866 ;заявл. 04.05.1979 ;опубл. 23.02.1981, Бюл. №7. - С 60.
7. Устройство для установки эластичных колец в наружные канавки базовых деталей: а. с. 973289 СССР : МПК В 23 Р 19/08 / А. Н. Шерешевский, В. М. Ковалев, М. Н. Шерешевский заявитель и патентообладатель Севастопольский приборостроительный институт. №3284013 ;заявл. 30.04.1981 ;опубл. 15.11.1982, Бюл. №42. - С 43.
8. Вершинина, Г.А. Анализ деформационного поведения фторопласта-4 в условиях силового воздействия / Г.А. Вершинина, Л.Е. Реут // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. - 2016. - №4 - С. 23-30.
9. Биргер, И.А., Сопротивление материалов/ И.А. Биргер, Р.Р. Мавлютов. - М.: Наука, 1986.- 560 с.
10. Самуль, В.И. Основы теории упругости и пластичности/ В.И. Самуль.: - М. Высш. шк., 1970. - 288 с.
11. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рощупкин. – М.: Центркatalog, 2018. – 144 с.

References

1. Classification of methods and devices for automatic Assembly of sealing joints in flexible automated production. Tarakhovskiy A. Y., Babikov I. I., Tarakhovskiy A. A. Mechanics of the XXI century. 2018. No. 17. Pp. 188-192.
2. Development of a device for assembling sealing joints of the type "elastic ring element-hole cap" Tarakhovskiy A. Y. Mechanics of the XXI century. 2017. No. 16. Pp. 178-181.
3. Device for installing elastic rings in the outer grooves of basic parts: a. C, 492373 USSR: IPK51 B 23 R 19/08 / G. F. Torshkov applicant to the patent holder. - No. 2021923; declared. 30.04.1974; publ. 25.11.1975, Byul. No. 43. - With 32.
4. Typification of basic parts of sealing joints (elastic ring part - - groove of the opening) Tarakhovskiy A. A., Tarakhovskiy A. Y. Mechanics of the XXI century. 2017. No. 16. Pp. 189-194.
5. Device for installing a package of o-rings in the internal grooves of parts: a. s. 1000213 USSR: MPK* B 23 R 19/08 / V. N. Zhilyaev, S. B. Dobrynin, D. I. Rodin, V. A. Graf, V. I. Bondartsev applicant and patentee Enterprise P / Ya M-5671. - No. 3351566; declared. 10.11.1981 ; 181; publ. To 28.02.1983, bull. No. 8. - From 8.
6. Device for installing elastic rings: a. s. 806347 USSR: MPK21 B 23 R 19/08 / L. A. Rabinovich, A. N. Shereshevsky applicant and patent holder Volgograd Polytechnic Institute. - No. 2761866; declared. 04.05.1979; publ. 23.02.1981, Byul. No. 7. - With 60.
7. Device for installing elastic rings in the outer grooves of basic parts: a. c. 973289 USSR: MPK B 23 P 19/08 / A. N. Shereshevsky, V. M. Kovalev, M. N., Shereshevsky applicant and patentoblad-tel Sevastopol instrument-making Institute. No. 3284013; claim. 30.04.1981; publ. 15.11.1982, Byul. No. 42. - With 43.
8. Vershinina, G. A. Analysis of the deformation behavior of fluoroplast-4 in the conditions of force action / G. A. Vershinina, L. E. Reut / / Weight. NAT. Acad. Navy of Belarus. Ser. Fiz.- tehn. Navy. - 2016. - No. 4-Pp. 23-30.
9. Birger, I. A., Resistance of materials/ I. A. Birger, R. R. Mavlyutov. - Moscow: Nauka, 1986.- 560 p.
10. Samul, V. I. Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity.: - M. Higher. SHK., 1970. - 288 p.
11. Kharchenko A.O. Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum (*Analysis and synthesis of the structures of modern multioperational machines*) / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, S.I. Roshchupkin. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 144 s.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ НА ПРИМЕРЕ СТАНКА С ЧПУ 1720ПФ30

А. А. Теленик¹ студент, А.О. Харченко² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь,
Российская Федерация, 299053, e-mail: antoha1103@gmail.com

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь,
Российская Федерация, 299053, e-mail: khao@list.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследований показателей надежности технических объектов на примере токарного полуавтомата с ЧПУ. Использована методика, позволяющая описать функционирование системы моделями случайных процессов на основе однородных цепей Маркова. Марковские процессы с дискретным состоянием и непрерывным временем характеризуют функционирование систем, у которых переход из состояния в состояние происходит в случайные моменты времени, а сами состояния (появление отказа) дискретны. В качестве данных использованы статистические параметры отказов и восстановлений деталей и узлов инструментальной, стружкоуборочной, гидравлической и других систем по приведенному размеченному графу состояний. Узлы, агрегаты и детали указанных систем могут требовать ремонта или замены в процессе эксплуатации с учетом отказов функционирования и последующего восстановления. В каждом случае данные выбирали для полной группы событий. Предложенный подход к оценке надежности технических объектов на примере многооперационного станка с ЧПУ, применение размеченных графов состояний и решение системы уравнений финальных вероятностей позволяет вычислить значения вероятности безотказной работы и определить наименее надежные подсистемы, узлы и элементы, оказывающие существенное влияние на общий уровень надежности технической системы станка. Полученные результаты дают возможность эффективно организовать мероприятия по повышению надежности, в первую очередь путем совершенствования наиболее слабых подсистем, узлов и элементов, а также на основе применения прогрессивных технологических процессов их изготовления и сборки.

Ключевые слова: надежность, закон распределения, отказ, марковские случайные процессы, размеченный граф состояний, уравнения финальных вероятностей, станок.

USING PROBABILISTIC RELIABILITY ASSESSMENT METHODS ON THE EXAMPLE OF A MACHINE WITH CNC 1720PF30

A. A. Telenik¹ student, A.O. Kharchenko² cand. sc. tech.

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail:
antoha1103@gmail.com

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail:
khao@list.ru

Abstract

The article presents the results of studies of reliability indicators of technical objects using an example of a semi-automatic lathe with CNC. A technique was used to describe the functioning of the system with models of random processes based on homogeneous Markov chains. Markov processes with a discrete state and continuous time characterize the functioning of systems in which the transition from state to state occurs at random times, and the states themselves (failure occurrence) are discrete. As the data used, the statistical parameters of failures and restores of parts and assemblies of tool, chip, hydraulic and other systems according to the given marked state graph. Units, assemblies and parts of these systems may require repair or replacement during operation, taking into account operational failures and subsequent restoration. In each case, data was selected for a complete group of events. The proposed approach to assessing the reliability of technical objects using an example of a multi-operation CNC machine, using labeled state graphs and solving the system of equations of final probabilities allows us to calculate the values of the probability of failure-free operation and determine the least reliable subsystems, nodes, and elements that significantly affect the overall level reliability of the technical system of the machine. The results obtained make it possible to effectively organize measures to increase reliability, primarily by improving the weakest subsystems, nodes and elements, as well as through the use of progressive technological processes for their manufacture and assembly.

Keywords: reliability, distribution law, failure, Markov random processes, labeled state graph, equations of final probabilities, machine.

1. Введение

Вопросы повышения надежности разнообразных технических устройств и систем – механизмов, машин, станков, аппаратов, приборов, автомобилей являются одними из важнейших для отечественного производства. Надежность технологических машин, например, станков с ЧПУ, имеет свою специфику, связанную с преобладанием износа и усталостных отказов и влиянием большого многообразия факторов. В настоящее время опубликовано множество научных работ по надежности, большинство из которых имеет математическую направленность [1-4]. Однако в данной работе уделено особое внимание подходу к техническим расчетам надежности с помощью ЭВМ, учету потоков отказов и восстановлений подсистем и агрегатов машин, случайным процессам при их технической эксплуатации, а также исследованию надежности на примере многооперационного станка с помощью теории массового обслуживания. Цель приведенных материалов – формирование у исследователей и проектировщиков комплексных теоретических и практических представлений об оценке надежности при решении задач разработки и модернизации технологических объектов.

2. Основная часть

Надежность – это интегральное свойство объекта, которое обусловлено его безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью и сохраняемостью. Отказ – событие случайное, поэтому для расчета показателей надежности используют методы теории вероятностей и математической статистики [5, 6, 7].

Одним из основных понятий, используемых при расчетах показателей надежности, является наработка – продолжительность или объем работы изделия. Для технологического оборудования наработку измеряют в часах. Распределение случайной величины наработки, полученной в результате испытаний или эксплуатации в реальных условиях, в зависимости от преобладающих видов отказов может быть подчинено некоторым законам, характеристики трех наиболее часто встречающихся приведены в работах [5, 6, 7].

В период нормальной эксплуатации постепенные отказы еще не проявляются и надежность характеризуется внезапными отказами. Эти отказы вызываются неблагоприятным сочетанием многих обстоятельств и поэтому имеют постоянную интенсивность, которая не зависит

от возраста изделия [6, 7]. Тогда вероятность безотказной работы и вероятность отказа определяются по выражениям для экспоненциального закона распределения случайной величины (таблица 1). Экспоненциальным законом распределения можно аппроксимировать время безотказной работы широкого круга объектов: особо ответственных машин и агрегатов, эксплуатируемых в период после окончания приработки и до существенного проявления постепенных отказов; элементов радиоэлектронной аппаратуры; машин с последовательной заменой отказавших деталей; машин вместе с электро- и гидрооборудованием и системами управления; сложных объектов, состоящих из многих элементов, причем время безотказной работы каждого из них может не быть распределено по экспоненциальному закону (важно, чтобы отказы одного элемента, не подчиняющегося этому закону, не доминировали над другими).

Нормальное распределение является наиболее универсальным и широко применяемым в практических расчетах для постепенных отказов в результате износа.

Закон Вейбулла является достаточно гибким и универсальным, охватывает путем варьирования параметров широкий диапазон случаев изменения вероятностей. Используется для оценки надежности деталей и узлов машин, в частности, автомобилей, подъемно-транспортных и других машин. При определенных значениях параметра формы b он приближается к экспоненциальному закону ($b = 1$), при других распределение Вейбулла приближается к нормальному закону. Этим и объясняется гибкость закона Вейбулла и широкое его применение. Например, отказ, связанный с усталостным разрушением, может быть вызван совместным действием обоих факторов. Наличие закалочной трещины или надреза на поверхности детали (производственных дефектов) обычно служит причиной усталостного разрушения. Если исходная трещина или надрез достаточно велики, то они сами по себе могут вызывать поломку детали при внезапном приложении значительной нагрузки. Это будет случаем типичного внезапного отказа. Постепенное же развитие усталостной трещины характерно для постепенного отказа.

Однако сами по себе характеристики законов распределения не дают возможности оценить надежность технических систем с учетом отказов и восстановлений входящих в их структуру подсистем, узлов и элементов, а параметры потоков отказов и восстановлений мо-

гут даже равнонадежные узлы при разных длительностях ремонта или восстановления заставить по-разному влиять на общую надежность системы. Эти особенности можно учесть только при построении размеченных графов состояний, оценки вероятности нахождения в этих состояниях при условии распределения случайных величин по экспоненциальному закону, подтвержденному полученной формой кривой плотности вероятности.

Весьма важными при оценке надежности являются марковские случайные процессы [3], особенность которых заключается в том, что вероятность любого состояния системы (машины, станка, автомобиля) в будущем зависит только от ее состояния в настоящее время и не зависит от того, когда и какими путями она пришла в это состояние. В цепях Маркова четко определены состояния системы. Переход из состояния в состояние осуществляется в дискретные моменты времени и определяется переходными вероятностями. Цепи Маркова иллюстрируются размеченным графом состояния системы, на котором отмечены сами состояния и направления переходов с указанием интенсивности переходов.

Марковские процессы с дискретным состоянием и непрерывным временем характеризуют функционирование систем, у которых переход из состояния в состояние происходит в случайные моменты времени, а сами состояния дискретны, например, появление отказа, неисправности.

Одним из распространенных случаев марковского процесса с дискретным состоянием и непрерывным временем являются простейшие процессы или потоки, обладающие свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последствия.

Еще одним важным свойством простейшего потока является то, что промежуток времени $\bar{T}$ между двумя соседними событиями (отказами) подчиняется экспоненциальному закону распределения, для которого

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda},$$

где λ – интенсивность потока отказов.

Рассмотрим токарный патронно-центральной полуавтомат с ЧПУ мод. 1720ПФ30 (рисунок 1), предназначенный для токарной обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем, а также для нарезания резьб в автоматическом режиме. Станок имеет шпиндельное устройство и механизм привода

главного движения, инструментальную систему в виде магазина барабанного типа с набором сменных режущих блоков, автоматически устанавливаемых в револьверной головке станка, приводы продольной и поперечной подачи, систему электрооборудования, устройство числового программного управления (типа «Контур-1»), гидравлическую систему для быстрых вспомогательных перемещений узлов, стружкоуборочный конвейер [8]. Узлы, агрегаты и детали указанных систем могут требовать ремонта или замены в процессе эксплуатации с учетом отказов функционирования и последующего восстановления. Для вероятностной оценки каждого из состояний необходимо построить размеченный граф состояний станка, составить уравнения финальных вероятностей, подставить значения параметров потоков отказов и восстановлений, рассчитать вероятности безотказной работы и отказов систем и узлов станка.

Размеченный граф состояний станка с учетом отказов функционирования его систем приведен на рисунке 2. Состояние S_0 характеризует нормальную работу станка, а $S_1, S_2, \dots, S_n$ – отказы соответствующих систем или узлов, приводящие к выходу из строя всего станка.



Рис. 1. Общий вид станка мод. 1720ПФ30

Вероятности безотказной работы P_0 и вероятности $P_1, P_2, \dots, P_n$ отказов соответствующих систем или узлов определяются из системы уравнений А.Н. Колмогорова:

$$\begin{cases} P_0 = (1 + \lambda_1/\mu_1 + \lambda_2/\mu_2 + \dots + \lambda_n/\mu_n)^{-1}; \\ P_1 = P_0 \lambda_1/\mu_1; \\ \dots \\ P_n = P_0 \lambda_n/\mu_n. \end{cases}$$

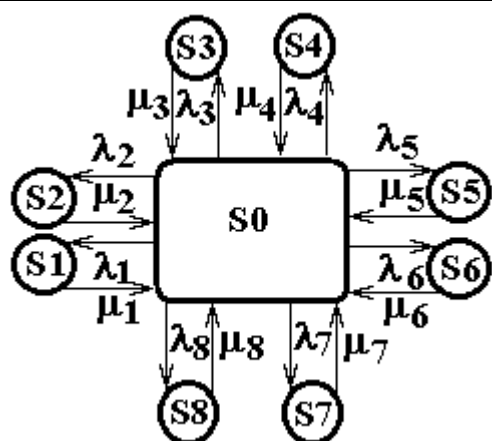


Рис. 2. Граф состояний станка с учетом отказов функционирования его систем

Пример алгоритмизации решения с помощью математического пакета MAPLE

Модель потоков системы массового обслуживания с дискретными состояниями иллюстрируется графом состояний.

Обозначения:

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ – потоки отказов, $\mu_1 \dots \mu_n$ – потоки восстановления.

Известно:

1. Возможные состояния системы:

S0 – отсутствие отказов; S1 – отказ привода главного движения; S2 – отказ инструментальной системы; S3 – отказ привода подачи; S4 – отказ стружкоуборочной системы; S5 – отказ привода вспомогательных движений; S6 – отказ гидравлической системы; S7 – отказ системы ЧПУ; S8 – отказ электрооборудования.

2. Интенсивности потоков отказов и восстановлений (все потоки – простейшие).

Требуется:

- найти предельные вероятности состояний системы $\{p_0, \dots, p_8\}$;
 - построить график распределения вероятностей состояний.
- Для решения задачи необходимо вычислить интенсивности потоков отказов λ_i по формуле:

$$\lambda_i = 1/\bar{T}_i,$$

где $\bar{T}_i$ – средняя наработка на отказ (ч),
и интенсивности потоков восстановлений:

$$\mu_i = 1/\bar{T}_{ei},$$

где $\bar{T}_{ei}$ – среднее время восстановления в часах (по данным таблицы 1).

В качестве данных можно использовать статистические параметры отказов и восстановлений деталей (узлов) инструментальной

системы, стружкоуборочной системы, гидравлической системы и т.п. по приведенному размеченному графу состояний. В каждом случае данные должны выбираться для полной группы событий.

Таблица 1. Исходные данные для определения среднего относительного времени состояний станка

№ п/п	Станочная система	$T_i, ч$	$T_{ie}, ч$
1	Привод главного движения	3500	70,7
2	Инструментальная система	24	2,5
3	Привод подачи	250	3,3
4	Стружкоуборочная система	200	4,0
5	Привод вспомогательных движений	172	9,6
6	Гидравлическая система	323	5,2
7	Система ЧПУ	320	3,1
8	Электрооборудование	250	20,3

> restart;

> # Блок 1

Параметры потоков (модель)

lambda[1]:=evalf(1/3500,3);

mu[1]:=evalf(1/70.7,3);

lambda[2]:=evalf(1/24,3); mu[2]:=evalf(1/2.5,3);

lambda[3]:=evalf(1/250,3); mu[3]:=evalf(1/3.3,3);

lambda[4]:=evalf(1/200,3); mu[4]:=evalf(1/4.0,3);

lambda[5]:=evalf(1/172,3); mu[5]:=evalf(1/9.6,3);

lambda[6]:=evalf(1/323,3); mu[6]:=evalf(1/5.2,3);

lambda[7]:=evalf(1/320,3); mu[7]:=evalf(1/3.1,3);

lambda[8]:=evalf(1/250,3);

mu[8]:=evalf(1/20.3,3);

#Вычисление предельной вероятности безотказной работы узлов станка и вероятностей других состояний

$\lambda_1 := .000286$ $\mu_1 := .0141$

$\lambda_2 := .0417$ $\mu_2 := .400$

$\lambda_3 := .00400$ $\mu_3 := .303$

$\lambda_4 := .00500$ $\mu_4 := .250$

$\lambda_5 := .00581$ $\mu_5 := .104$

$\lambda_6 := .00310$ $\mu_6 := .192$

$\lambda_7 := .00312$ $\mu_7 := .323$

$\lambda_8 := .00400$ $\mu_8 := .0493$

> # Блок 2

Вычисление $p[0]$

$p[0]:=1/(1+lambda[1]/mu[1]+lambda[2]/mu[2]+lambda[3]/mu[3]+lambda[4]/mu[4])$

```
+lambda[5]/mu[5]+lambda[6]/mu[6]
+lambda[7]/mu[7]+lambda[8]/mu[8]);
```

```
p0 := .7572650655
```

```
> # Блок 3
```

```
# Вычисление p[1]..p[n]
```

```
p[1]:=p[0]*lambda[1]/mu[1];
```

```
p[2]:=p[0]*lambda[2]/mu[2];
```

```
p[3]:=p[0]*lambda[3]/mu[3];
```

```
p[4]:=p[0]*lambda[4]/mu[4];
```

```
p[5]:=p[0]*lambda[5]/mu[5];
```

```
p[6]:=p[0]*lambda[6]/mu[6];
```

```
p[7]:=p[0]*lambda[7]/mu[7];
```

```
p[8]:=p[0]*lambda[8]/mu[8];
```

```
p1 := .01536012828
```

```
p2 := .07894488308
```

```
p3 := .009996898554
```

```
p4 := .01514530131
```

```
p5 := .04230490414
```

```
p6 := .01222667554
```

```
p7 := .007314758526
```

```
p8 := .06144138462
```

```
> # Блок 4
```

```
# Проверка по условию нормировки
```

```
n:=8;
```

```
SUM:=evalf[5](sum('p[i]',i=0..n));
```

```
SUM := 1.0000
```

```
> # Блок 5
```

```
# Диаграмма вероятностей отказов узлов системы
```

```
with(stats):
```

```
with(stats[statplots]):
```

```
data1:= [ Weight(1..2, p[1]), Weight(2..3, p[2]),
```

```
Weight(3..4, p[3]), Weight(4..5, p[4]), Weight(5..6,

```

```
p[5]), Weight(6..7, p[6]), Weight(7..8, p[7]),

```

```
Weight(8..9, p[8]) ]:
```

```
histogram(data1, color=pink, thickness=2);
```

С учетом полученных значений вероятности безотказной работы ($P_0 = 0,76$), определяем наименее надежные системы с учетом отказов и восстановлений, влияющие на общий уровень

Список литературы

1. Гнеденко Б.В., Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 1965. – 546 с.
2. Капур К., Надежность и проектирование систем / К. Капур, Л. Ламберсон. – М.: Мир, 1980. – 608 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с. Джонс Дж. К. Методы проектирования / Дж. К. Джонс. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
4. Половко А.М. Основы теории надежности. Практикум / А.М. Половко, С.В. Гуров. – СПб.: – БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.

надежности станка. В данном случае это инструментальная система (7,9% отказов, $P_2 = 0,079$) и система электрооборудования (6,1% отказов, $P_8 = 0,061$). Мероприятия по повышению надежности должны быть направлены в первую очередь на совершенствование найденных уязвимых систем многооперационного станка.

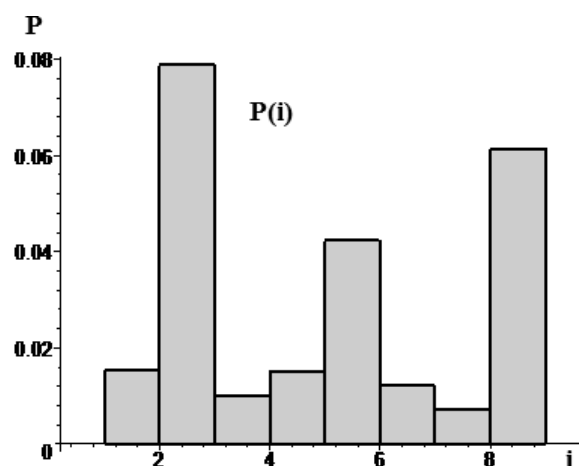


Рис. 3. Гистограмма распределения станка по номерам состояний с учетом отказов и восстановлений

3. Заключение

Предложенный подход [11] к оценке надежности технических объектов на примере многооперационного станка с ЧПУ, позволил описанием функционирования системы моделями случайных процессов на основе однородных цепей Маркова с использованием размеченных графов состояний получить значения вероятности безотказной работы (P_0), а также определить наименее надежные узлы и элементы, оказывающие существенное влияние на общий уровень надежности системы. Полученные результаты позволяют эффективно организовать мероприятия по повышению надежности, в первую очередь путем совершенствования найденных уязвимых подсистем, узлов и элементов, а также применения прогрессивных технологических процессов их изготовления и сборки.

5. Кузнецов Ю.Н. Теория технических систем: учебник / Ю.Н. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луцив. – Севастополь: СевНТУ, 2010. – 252 с.
6. Шишмарев В.Ю. Надежность технических систем: учебник для студ. ВУЗов / В.Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2010. – 304 с.
7. Надежность и эффективность в технике. Справочник: в 10 т. / Под ред. В.С. Авдеевского [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 420 с.
8. Харченко А.О. Металлообрабатывающие станки и оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие / А.О. Харченко – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 260 с.
9. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев. – Л.: Политехника, 1991. – 224 с.
10. Долгин В.П. Надежность автотранспортных средств. Практикум: учеб. пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко, О.В. Хромов. – К.: Кондор-Издательство, 2014. – 251с.
11. Долгин В.П. Надежность технических систем: Учеб. пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 167 с.

References

1. Gnedenko B.V., Matematicheskiye metody v teorii nadezhnosti (*Mathematical methods in the theory of reliability*) / B.V. Gnedenko, YU.K. Belyayev, A.D. Solov'yev. – М.: Nauka, 1965. – 546 s.
2. Kapur K., Nadezhnost' i proyektirovaniye system (*Reliability and system design*) / K. Kapur, L. Lamberson. – М.: Mir, 1980. – 608 s.
3. Venttsel' Ye.S. Issledovaniye operatsiy (*Operations Research*) / Ye.S. Venttsel'. – М.: Nauka, 1988. – 208 s.
4. Polovko A.M. Osnovy teorii nadezhnosti. Praktikum (*Fundamentals of the theory of reliability*) / A.M. Polovko, S.V. Gurov. – Spb.: – BKHV-Peterburg, 2006. – 560 s.
5. Kuznetsov YU.N. Teoriya tekhnicheskikh sistem: uchebnik (*Theory of technical systems*) / YU.N. Kuznetsov, YU.K. Novoselov, I.V. Lutsiv. – Sevastopol': SevNTU, 2010. – 252 s.
6. Shishmarev V.YU. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: uchebnik dlya stud. VUZov (*Reliability of technical systems*) / V.YU. Shishmarev. – М.: Akademiya, 2010. – 304 s.
7. Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike (*Reliability and efficiency in technology*). Spravochnik v 10 t. / Pod red. V.S. Avduyevskogo [i dr.]. – М.: Mashinostroyeniye, 1989. – 420 s.
8. Kharchenko A.O. Metalloobrabatyvayushchiye stanki i oborudovaniye mashinostroitel'nykh proizvodstv (*Metal-working machines and equipment engineering industries*): Ucheb. posobiye / A.O. Kharchenko – М.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M, 2017. – 260 s.
9. Lukinskiy V.S. Prognozirovaniye nadezhnosti avtomobiley (*Prediction of vehicle reliability*) / V.S. Lukinskiy, Ye.I. Zaytsev. – Л.: Politekhnik, 1991. – 224 s.
10. Dolgin V.P. Nadezhnost' avtotransportnykh sredstv. Praktikum (*Vehicle reliability*): ucheb. posobiye / V.P. Dolgin, A.O. Kharchenko, O.V. Khromov. – К.: Kondor-Izdatel'stvo, 2014. – 251s.
11. Dolgin V.P. Nadezhnost' tekhnicheskikh system (*Reliability of technical systems*): Ucheb. posobiye / V.P. Dolgin, A.O. Kharchenko. – М.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M, 2017. – 167 s.

УДК 621.923

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРЕННЕЙ МЕЛКОРАЗМЕРНОЙ РЕЗЬБООБРАБОТКИ

А. В. Мерзлов¹ аспирант, А.О. Харченко² канд. техн. наук,
А.А. Харченко³ канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: aleksei.merzlov@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: khao@list.ru

³ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: list-box@mail.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследований показателей надежности при формообразовании резьбы метчиками – машинно-ручными (режущими), пластически деформирующими и режуще-деформирующими. Для исследования интенсивностей отказов их функционирования в лабораторных условиях проведен полный факторный эксперимент. Представлены условия планирования эксперимента с заданными границами, уровнями и шагами варьирования независимых переменных, план эксперимента, матрица планирования, иллюстри-

рующие уровни значений параметров, которые имели метчики в данной точке факторного пространства. Полученные (в результате факторного эксперимента данные позволили выявить для трех видов метчиков условия проведения испытаний на эксплуатационную надежность. Исследования наработки на отказ метчиков трех структурных вариантов производили в течении месяца в лабораторных условиях с учетом параметров обработки и режимов, выбранных для каждой конструкции в процессе факторного эксперимента. Результаты статистического исследования указанных метчиков сведены в таблицу. На основании результатов вычислений строили графики относительных частот распределения времени между отказами функционирования метчиков для каждого из вариантов. Выявлены наиболее частые причины отказов функционирования машинно-ручных метчиков (поломки рабочей части), а также пластически деформирующих метчиков (выкрашивание зубьев заборного участка и переходных зубьев). Режущие-деформирующие метчики отказывали как по первой, так и по второй причинам примерно в равных соотношениях, однако обладали наилучшими показателями с точки зрения надежности.

Ключевые слова: машинно-ручные метчики, пластически-деформирующие метчики, режущие-деформирующие метчики, отказ функционирования, планирование эксперимента, матрица планирования, относительные частоты распределения.

STUDY OF THE EFFECTIVENESS OF INTERNAL SMALL THREADING

A.V. Merzlov¹ graduate student, A.O. Kharchenko² cand. sc. tech.,
A.A. Kharchenko³ cand. sc. tech.

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: aleksei.merzlov@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: khao@list.ru

³ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: list-box@mail.ru

Abstract

The article presents the results of studies of reliability indicators during thread shaping with taps - machine-manual (cutting), plastic deforming and cutting-deforming. To study the failure rates of their functioning in laboratory conditions, a full factorial experiment was conducted. The conditions for designing an experiment with given boundaries, levels and steps of varying independent variables, the experimental design, and the planning matrix illustrating the levels of parameter values that had taps at a given point in the factor space are presented. The data obtained (as a result of a factorial experiment) made it possible to identify conditions for testing operational reliability for three types of taps. Studies of the MTBF of the taps of three structural variants were carried out for a month under laboratory conditions, taking into account the processing parameters and the modes selected for each design during the factor experiment. The results of a statistical study of these taps are summarized in table. Based on the results of the calculations, we plotted the relative frequencies of the time distribution between the failures of the taps for each of the options. The most common causes of failures in the functioning of machine-hand taps (breakdown of the working part), as well as plastically deforming taps (chipping of the teeth of the intake section and transition teeth) were identified. For both the first and second reasons, cutting-deforming taps refused approximately equal co-relations, however, they had the best indicators in terms of reliability.

Keywords: machine-manual taps, plastic deforming taps, cutting-deforming taps, functional failure, experiment planning, planning matrix, relative distribution frequencies.

1. Введение

В настоящее время для внутренней мелко-размерной резьбообработки (М2...М6) практически единственно возможным является формообразование резьбы метчиками – машинно-ручными (режущими), пластически деформирующими и режущие-деформирующими [1-6]. Несмотря на накопленный значительный опыт исследований процесса формообразования резьбовой поверхности в мелкоразмерных отвер-

ствиях [4, 5, 7], надежность различных видов метчиков при обработке труднообрабатываемых материалов до сих пор недостаточно изучена.

2. Основная часть

Методика исследования эксплуатационной надежности резбонарезного оборудования с учетом большого числа различных факторов достаточно сложна и трудоемка [8, 9]. С целью исследования интенсивностей отказов функци-

онирования и интенсивностей восстановления технологических элементов сравниваемых вариантов модулей необходимо провести в лабораторных условиях полный факторный эксперимент типа 2^n для выявления экспериментальных условий функционирования элементов модулей.

Пользуясь таким планированием, можно представить исследуемую зависимость $\eta(x)$, $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ в виде полинома:

$$\eta(x) = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum \beta_{ij} x_i x_j + \sum \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \dots, \quad (1)$$

$$1 \leq i < j \leq n; 1 \leq i < j < k \leq n,$$

где $\{\beta\}$ – коэффициент уравнения регрессии.

Учитывая, что надежность таких технологических элементов, как метчики определяется в первую очередь прочностью обрабатываемого материала, скоростью резбонарезания и диаметром отверстия [10], рассмотрим задачу по определению зависимости стойкости метчиков от перечисленных факторов: прочности обрабатываемого материала $\sigma(x_1)$, скорости резбобработки $V(x_2)$ и диаметра отверстия $d(x_3)$, то есть

$$Y = T_H' = f(x_1, x_2, x_3) \quad (2)$$

Для испытаний брали трехгранные пластически деформирующие метчики (ПДМ, рис. 1), машинно-ручные метчики (МРМ) (ГОСТ 1604-71) и режуще-деформирующие метчики (РДМ, рисунок 2), изготовленные из стали Р9К5 (ГОСТ 19265-73) с твердостью рабочей части HRC 62...65. Максимальная прочность обрабатываемого материала (ВТ 3) принята равной $\sigma_B = 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$, минимальная $\sigma_B = 0,6 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$ (сталь 34ХНЗМ). Скорость резбобработки изменяли от 0,042 до 0,15 м/с. Диаметры отверстия под резьбу М4 изменяли для ПДМ в диапазоне от 3,30 до 3,50 мм. Значения остальных параметров принимали постоянными. Условия планирования эксперимента с заданными границами, уровнями и шагами варьирования независимых переменных X_1, X_2, X_3 в натуральном кодированном виде представлены в таблице 1. План эксперимента – матрица планирования (таблица 2, левая часть), иллюстрирует уровни значений параметров, которые имели метчики в данной точке факторного пространства.



Рис. 1. Конструкция пластически-деформирующего метчика (ПДМ)



Рис. 2. Конструкции режуще-деформирующих метчиков (РДМ)

Таблица 1. Условия планирования экспериментальных исследований метчиков на эксплуатационную надежность

Условия	$\sigma(x_1)$		$V(x_2)$		$d(x_3)$	
	Н/мм^2	код	м/с	код	мм	код
Уровень:						
Верхний	10^{-3}	+1	0,15	+1	3,76	+1
Нижний	$0,6 \times 10^{-3}$	+1	0,04	-1	3,62	-1
Основн.	$0,8 \times 10^{-3}$	0	0,09	0	3,69	0
Шаг	$0,2 \times 10^{-3}$	-	0,05	-	0,07	-

Таблица 2. Матрица планирования и результаты эксперимента

Планирование			Стойкость инструмента $T_H', \text{ мин}$				S_{yi}^2
X_1	X_2	X_3	Y_{H1}	Y_{H2}	Y_{H3}	$Y = (Y_H)$	
-	-	-	14,1	14,2	13,7	14,0	0,07
+	-	-	1,7	1,6	1,8	1,7	0,02
-	+	-	3,9	4,1	3,8	3,9	0,03
+	+	-	0,8	0,9	0,7	0,8	0,02
-	-	+	14,5	14,6	14,4	14,5	0,01
+	-	+	1,7	1,5	1,9	1,7	0,04
-	+	+	4,1	3,8	4,2	4,1	0,05
+	+	+	0,9	0,7	1,1	0,9	0,02

Обрабатывали сквозные резьбовые отверстия размером М4 в заготовках из сталей 34ХНМЗ ($\sigma_B = 0,6 \times 10^{-3} \text{ Н/мм}^2$), 12Х21НЗТ

($\sigma_B = 0,7 \times 10^{-3} \text{ Н/м}^2$), ВЖ36-Д2 ($\sigma_B = 0,8 \times 10^{-3} \text{ Н/м}^2$). В качестве смазывающе-охлаждающего технологического средства (СОТС) использовали сульфозфрезол (ГОСТ 122-84). Средний и внутренний диаметры обработанной резьбы контролировали гладкими и резьбовыми калибрами. Для оценки эксплуатационной надежности метчиков определяли их суммарную стойкость, то есть время от начала работы до поломки зубьев рабочей части или стержня метчика. Суммарная стойкость (наработка на отказ) определяется по формуле

$$T_{II}' = k_0 h / n_{ш} P_M \quad (3)$$

где k_0 – количество обработанных резьбовых отверстий; h – глубина отверстия, мм; $n_{ш}$ – частота вращения шпинделя, мин^{-1} ; P_M – шаг резьбы метчика, мм.

В правой части таблицы 2 приведены результаты испытаний ПДМ (соответствующих анализируемым вариантам I_2), когда значения исследуемых параметров обработки (σ_B , V , d) составили восемь различных комбинаций, указанных в матрице планирования.

В результате дисперсионного анализа результатов эксперимента окончательное искомое уравнение зависимости имеет вид:

$$Y(X) = 2,964 - 6,473X_1 + 4,765X_2 + 3,699X_3 \quad (4)$$

Для нахождения оптимальных параметров при наличии уравнения (4) применяли метод крутого восхождения по поверхности отклика (таблица 3)

Таблица 3. Результаты испытаний метчиков на эксплуатационную надежность

Исследуемые факторы	σ_B , Н/м	V , м/с	d , мм	T , мин
b_i	-6,473	4,76	3,69	–
$b_i \times \Delta$	$-1,3 \times 10^{-3}$	0,26	0,26	–
Шаг, q	$-0,08 \times 10^{-3}$	1	0,02	–
Опытные данные	$0,72 \times 10^{-3}$	0,11	3,71	14,63
	$0,64 \times 10^{-3}$	0,13	3,72	14,84

В первой строке таблицы 3 указаны значения коэффициентов уравнения регрессии. Затем вычисляли произведения коэффициентов b_i на интервал варьирования $\Delta(x)$ (вторая строка). Максимальное значение имело произведение $b_i \times \Delta(x_2) = 15,48$, которое и было принято за базовое. Для базового фактора X_2 выбран шаг крутого восхождения $q_2 = 1$. Шаг для остальных факторов X_1 и X_3 находили по соотношениям:

$$q_1 = -1,3 \times 10^{-3} / 15,486 = -0,08 \times 10^{-3};$$

$$q_3 = 0,259 / 15,486 = 0,02.$$

Полученные шаги занесены в третью строку. В следующих строках показан процесс восхождения с реализацией опытов. Из анализа результатов испытаний следует, что стойкость метчиков повышается с уменьшением прочности обрабатываемого материала. Однако дальнейшее уменьшение прочности материала нецелесообразно, так как при значениях $\sigma_B < 0,6 \times 10^{-3} \text{ Н/м}^2$ наблюдается выход за пределы диапазона труднообрабатываемых материалов, что противоречит условиям испытаний на надежность по экстремальному уровню. Поэтому значения параметров, записанные в последней строке, можно считать приемлемыми для результатов испытаний ПДМ: материал 12Х13 ($\sigma_B < 0,6 \times 10^{-3} \text{ Н/м}^2$), $V = 0,13 \text{ м/с}$, $d = 3,72 \text{ мм}$.

Полученные аналогичным образом (в результате факторного эксперимента) данные для машинно-ручных метчиков (I_1) и режуще-деформирующих метчиков (I_3) позволили выявить для них условия проведения испытаний на эксплуатационную надежность. Так, для варианта I_1 выбирали обрабатываемый материал 34ХН3М ($\sigma_B < 0,58 \times 10^{-3} \text{ Н/м}^2$), $V = 0,07 \text{ м/с}$, $d = 3,24 \text{ мм}$. Для варианта I_3 брали материал 12Х21Н5Т ($\sigma_B < 0,7 \times 10^{-3} \text{ Н/м}^2$), $V = 0,117 \text{ м/с}$, $d = 3,34$. Время между двумя отказами функционирования каждого технологического элемента является случайной величиной, так как обусловлено случайными событиями (например, метчики, взятые из одной партии, имеют отличия по геометрическим параметрам, прочности, шероховатости поверхности, что сказывается на их стойкости). Исследования наработки на отказ метчиков (T_{II}') трех структурных вариантов (I_1 , I_2 , I_3) производили в течении месяца в лабораторных условиях с учетом параметров обработки и режимов, выбранных для каждой конструкции в процессе факторного эксперимента. Результаты статистического исследования указанных метчиков сведены в таблицу 4, где показаны математические ожидания $M[T_{II}^t]$ дискретных случайных величин времени T_{II}' между двумя отказами функционирования метчиков. Дисперсия $D[T_{II}^t]$ при этом отличается от соответствующего математического ожидания на 2,5%, 6% и 11%, что дает возможность утверждать о распределении случайной величины T_{II}' по закону Пуассона. Для статистического описания процесса возникновения отказа рассчитывали относительные частоты распределения $h(T_{II}^t)$. На основании результатов вычислений строили графики относительных частот распределения для каждого варианта метчиков (рис. 3).

Анализ графиков допускает возможность использования гипотезы об экспоненциальном характере распределения времени между двумя отказами функционирования метчиков. Проверка по критерию Бартлетта (таблица 5) также подтвердила справедливость этой гипотезы.

Таблица 4. Экспериментальные значения времени между отказами функционирования метчиков

Вариант метчика	Математ. ожидание, $M[T_n^I]$, мин	Дисперсия, $D[T_n^I]$
Машинно-ручной – I_1	7,9	8,1
Пластически деформирующий – I_2	14,6	13,7
Режуще-деформирующий – I_3	21,9	19,4

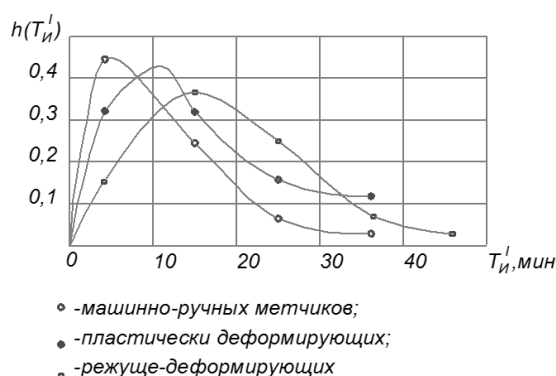


Рис. 3. Относительные частоты распределения времени между отказами функционирования метчиков

Список литературы

1. Харченко А.О. Патентоведение и изобретательство: практикум / А.О. Харченко, А.Г. Карлов, А.А. Харченко, К.Н. Осипов. – М.: Центркаталог, 2018. – 112 с.
2. Матвеев В.В. Нарезание точных резьб / В.В. Матвеев. – М.: Машиностроение, 1978. – 88 с.
3. Фрумин Ю.Л. Высокопроизводительный резьбообразующий инструмент / Ю.Л. Фрумин. – М.: Машиностроение, 1977. – 183 с.
4. Меньшаков В.М. Бесстружечные метчики / В.М. Меньшаков, Г.П. Урлапов, В.С. Середа. – М.: Машиностроение, 1976. – 167 с.
5. Якухин В.Г. Оптимальная технология изготовления резьб / В.Г. Якухин. – М.: Машиностроение, 1985. – 184 с.
6. Миропольский Ю.А. Накатывание резьб и профилей / Ю.А. Миропольский, Э.П. Луговой. – М.: Машиностроение, 1976. – 214 с.
7. Харченко А.О. Металлообрабатывающие станки и оборудование машиностроительных производств: Учеб. пособие / А.О. Харченко – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 260 с.
8. Братан С.М. Процессы и операции формообразования поверхностей при механической обработке: Учеб. пособие / С.М. Братан, Е.А. Владецкая, Е.А. Левченко и др. – М.: Центркаталог, 2018. – 200 с.
9. Братан С.М. Повышение точности формообразования мелкогабаритных резьб метчиками в алюминиевых сплавах: монография / С.М. Братан, Ф.Н. Канареев, П.А. Новиков, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 164 с.
10. Мерзлов А.В. Анализ особенностей формообразования внутренних резьб М2...М6 / А.В. Мерзлов, А.О. Харченко // Современные технологии: проблемы и перспективы: сб. статей Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных (20 - 23 мая 2019 г.), Севастополь: ФГАОУ ВО «СевГУ», 2019. – С. 94-96.

Таблица 5. Результаты экспериментальной оценки применимости гипотезы экспоненциального распределения отказов функционирования метчиков

№ п/п	Определяемый параметр	Варианты метчиков			
		И ₁	И ₂	И ₃	
1.	Двусторонний критерий	$\chi^2_{0,95}$	73,52	69,12	60,39
		$\chi^2_{0,05}$	118,75	113,15	101,88
2.	Критерий Бартлетта	B_n	98.72	101,19	79,43

3. Заключение

Наиболее частыми причинами отказов функционирования метчиков машинно-ручных (I_1) были поломки рабочей части, пластически деформирующих (I_2) – выкрашивание зубьев заборного участка и переходных зубьев между заборным и калибрующим участками. Режуще-деформирующие метчики (I_3) выходили из строя как по первой, так и по второй причинам примерно в равных соотношениях. Однако наилучшими показателями с точки зрения надежности обладают режуще-деформирующие метчики, которые при работе с труднообрабатываемыми материалами достигали средней наработки на отказ (T_n^I) около 22 мин.

References

1. Kharchenko A.O. Patentovedeniye i izobre-tatel'stvo: praktikum (*Patenting and invention*) / A.O. Kharchenko, A.G. Karlov, A.A. Kharchenko, K.N. Osipov. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 112 s.
2. Matveyev V.V. Narezaniye tochnykh rez'b (*Precision Thread Cutting*) / V.V. Matveyev. – M.: Mashinostroyeniye, 1978. – 88 s.
3. Frumin YU.L. Vysokoproizvoditel'nyy rez'boobrazuyushchiy instrument (*High-performance thread-forming tool*) / YU.L. Frumin. – M.: Mashinostroyeniye, 1977. – 183 s.
4. Men'shakov V.M. Besstruzhechnyye metchiki (*Chipless taps*) / V.M. Men'shakov, G.P. Uralpov, V.S. Sereda. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 167 s.
5. Yakukhin V.G. Optimal'naya tekhnologiya izgotovleniya rez'b (*Optimal thread manufacturing technology*) / V.G. Yakukhin. – M.: Mashinostroyeniye, 1985. – 184 s.
6. Miropoya'skiy YU.A. Nakatyvaniye rez'b i profiley (*Rolling threads and profiles*) / YU.A. Miropol'skiy, E.P. Lugovoy. – M.: Mashinostroyeniye, 1976. – 214 s.
7. Kharchenko A.O. Metalloobrabatyvayushchiye stanki i oborudovaniye mashinostroitel'nykh proizvodstv (*Metal-working machines and equipment of machine-building industries*): Ucheb. posobiye / A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M, 2017. – 260 s.
8. Bratan S.M. Protsessy i operatsii formoobrazovaniya poverkhnostey pri mekhanicheskoy obrabotke (*Processes and operations of forming surfaces during machining*): Ucheb. posobiye / S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, Ye.A. Levchenko i dr. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 200 s.
9. Bratan S.M. Povysheniye tochnosti formoobrazovaniya melkorazmernykh rez'b metchikami v alyuminiyevykh splavakh (*Improving the accuracy of shaping small-sized threads with taps in aluminum alloys*): monografiya / S.M. Bratan, F.N. Kanareyev, P.A. Novikov, A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy ucheb-nik: INFRA-M, 2017. – 164 s.
10. Merzlov A.V. Analiz osobennostey formoobrazovaniya vnutrennykh rez'b M2...M6 (*Analysis of the features of the formation of internal threads M2 ... M6*) / A.V. Merzlov, A.O. Kharchenko // Sovremennyye tekhnologii: problemy i perspektivy: sb. statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii dlya aspirantov, studentov i molodykh uchonykh (20 - 23 maya 2019 g.), Sevasto-pol': FGAOU VO «SevGU», 2019. – S. 94-96.

УДК 621.01

АНАЛИЗ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКУЮ СИСТЕМУ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА В ПЛАВУЧИХ МАСТЕРСКИХ

С.В. Корчевский¹ студент, Е.А. Владецкая² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: LEV9456@yandex.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: vladetska@rambler.ru

Аннотация

В статье приведены результаты анализа и теоретических исследований динамической системы технологического оборудования плавучей мастерской. В системе металлорежущего станка при работе происходят сложные вибрационные воздействия, как стационарные, так и нестационарные, в результате колебательных процессов. Для обеспечения работоспособности оборудования необходимо выполнить компенсацию колебаний, создаваемых технологическим оборудованием вследствие смещений плавучей мастерской в результате внешних возмущений. Наиболее точным по существующим представлениям является описание морского волнения суперпозицией волновых систем. Для описания энергетического спектра трехмерного волнения обычно используется формула Артура. Для определения динамических характеристик несущей системы, а именно, амплитудно-частотных и амплитудно-фазовых частотных характеристик, необходимо наличие динамических моделей технологических систем станка, которые необходимо построить на основе конкретной расчетной схемы. Предложена одна из схем, позволяющая проиллюстрировать динамику перемещений центров круга, заготовки и изменения фактической глубины резания в процессе круглого наружного шлифования. Повышение качества обработки деталей непосредственно связано с необходимостью ослабления вынужденных колебаний станка, передаваемых через поверхность палубы от внешних источников. Уровень вынужденных колебаний станка снижается при установке его на виброизолирующие устройства. Традиционные виброизолирующие опоры не могут быть использованы на плавучих мастерских по причине невозможности их функционирования

в условиях качки плавучего основания и горизонтальных смещений под ее воздействием. Получение расширенной модели стохастического описания процесса съема материала при взаимодействии инструмента, заготовки и источника внешних возмущений способствует определению основных технологических показателей процесса обработки в условиях плавучих мастерских.

Ключевые слова: плавучая мастерская, станок, внешние возмущения, морское волнение, динамические характеристики, вынужденные колебания, виброизолирующие опоры.

ANALYSIS OF EXTERNAL INFLUENCES ON THE GRINDING MACHINE TECHNOLOGICAL SYSTEM IN FLOATING WORKSHOPS

S.V. Korchevskiy¹ student, E.A. Vladetskaya² cand. sc. tech.

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: LEV9456@yandex.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: vladetska@rambler.ru

Abstract

The article presents the results of analysis and theoretical studies of the dynamic system of technological equipment of a floating workshop. In the system of a metal cutting machine during operation, complex vibrational influences occur, both stationary and non-stationary, as a result of oscillatory processes. To ensure the work of the equipment, it is necessary to compensate for fluctuations created by technological equipment due to displacements of the floating workshop as a result of external disturbances. The most accurate according to existing models is the description of sea waves by a superposition of wave systems. The Arthur formula is usually used to describe the energy spectrum of three-dimensional waves. To determine the dynamic characteristics of the carrier system, namely, the amplitude-frequency and amplitude-phase frequency characteristics, it is necessary to have dynamic models of technological systems of the machine, which must be built on the basis of a specific design scheme. One of the schemes is proposed, which allows one to illustrate the dynamics of the displacements of the centers of the circle, the workpiece, and the change in the actual depth of cutting in the process of circular external grinding. Improving the quality of processing parts is directly related to the need to weaken the forced vibrations of the machine transmitted through the surface of the deck from external sources. The level of forced vibrations of the machine decreases when it is installed on vibration-isolating devices. Traditional vibration-isolating supports cannot be used in floating workshops because of the impossibility of their functioning under the rolling pitch of the floating base and horizontal displacements under its influence. The obtained extended model of the stochastic description of the material removal process during the interaction of the tool, the workpiece and the source of external disturbances helps to determine the main technological parameters of the processing in the conditions of floating workshops.

Keywords: floating workshop, machine tool, external disturbances, sea waves, dynamic characteristics, forced vibrations, vibration isolating supports.

1. Введение

При ремонте морских и речных транспортных средств широкое применение находят такие передвижные механические комплексы, как плавучие рейдовые мастерские (ПРМ), на палубах которых размещены механообрабатывающие участки, включающие практически все виды станочного оборудования. Особенностью эксплуатации оборудования является наличие вибраций, вызванных действием различных источников, приводящее к снижению точности и чистоты обработки, а также и к другим нарушениям технологических процессов. Наличие колебаний в отклонениях расположения шероховатости поверхности, объясняется возмущающими воздействиями в технологических

процессах, вызванных нестабильностью технологической системы. А нестабильность параметров деталей определяется воздействием в процессе их производства на технологическую систему (ТС) изменяющихся внешних факторов, часть из которых неизвестна и не контролируется. Эта проблема весьма актуальна для работы в условиях ПРМ.

2. Основная часть

При системном анализе динамической системы оборудования плавучей мастерской кроме воздействий внешнего оборудования, характерных для работы в стационарных условиях участка (цеха), таких как компрессоры, вентиляторы, насосы, транспортно-загрузочные

устройства, создающие гармоническое воздействие на основание с частотой вращения приводных двигателей ($f = 12 \dots 48,5 \text{ с}^{-1}$) и оборудование, создающее импульсное воздействие на основание – прессовое, долбежные и строгальные станки, необходимо учитывать такие воздействия внешней среды, как колебания водной поверхности, передающие вибрационные воздействия через плавучее основание и поверхность палубы на оборудование.

При декомпозиции системы механической обработки в ПРМ выделяют подсистемы: «Источник колебаний» и подсистема «Объект виброзащиты», которые соединены между собой связями, вызывающими колебания объекта под действием сил динамических воздействий. Знакопеременные напряжения, вызванные вибрационными воздействиями, приводят к накоплению повреждений в материале, что вызывает появление усталостных трещин и разрушения. Кроме усталостных разрушений в механических системах наблюдаются такие явления, как ослабление неподвижных соединений, смещение сопряженных поверхностей соединений деталей машин, при этом происходит изменение структуры поверхностных слоев сопрягаемых деталей, их износ и, как результат, уменьшение силы трения в соединении, что вызывает изменение диссипативных свойств объекта, смещает его собственные частоты и т.п.

Процесс влияния возмущений на технологическую систему металлорежущего станка в ПРМ представлен на рис. 1.

На схеме стрелками и цифрами 0...8 показаны направления и последовательность колебаний, возбуждаемых соответственно внешней средой, плавучим основанием, внешним оборудованием, поверхностью палубы, а также станиной станка, его узлами и системами. Стрелками и цифрами 9...19 обозначены направления и последовательность передачи колебаний от самовозбуждения (колебания и вибрации в зоне резания и работы приводов). Стрелки и цифры 9'...12' указывают на передачу вибраций от силовых приводов.

В системе металлорежущего станка при работе происходят сложные вибрационные воздействия, как стационарные, так и нестационарные, в результате колебательных процессов (кинетических и силовых). Можно предположить также наличие ударных воздействий – механических кратковременных в результате работы внешнего оборудования одновременно с процессом обработки, а также длительного действия за счет качки при колебаниях водной поверхности, передаваемых плавучим основа-

нием через поверхность палубы технологическому оборудованию.

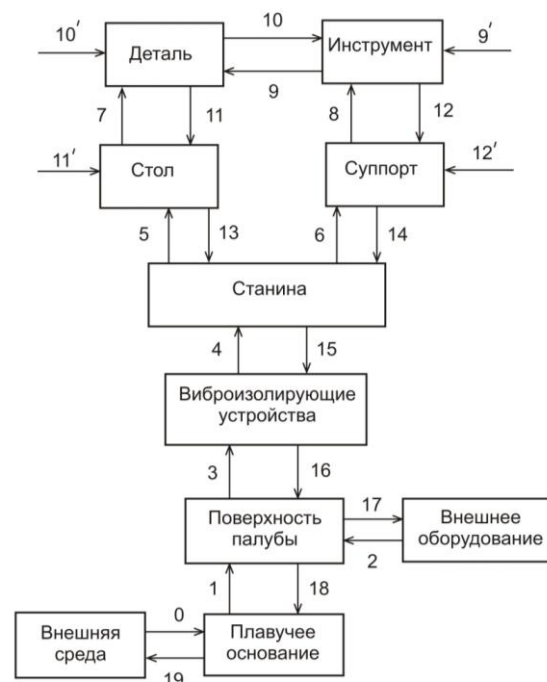


Рис. 1. Схема вибрационных взаимодействий системы станка в ПРМ

Период работы оборудования должен обеспечиваться удержанием плавучей мастерской в заданном месте в условиях воздействия внешней среды – ветра, течения и морского волнения. В случае прекращения мер по удержанию, возмущающие силы могут привести к приостановке работ, к аварийным ситуациям и к выходу из строя технологического оборудования.

Актуальность данной работы заключается в выявлении путей снижения влияния шумов возбуждений, связанных как с внутренними, так и с внешними источниками колебаний ТС в условиях ПРМ.

Для обеспечения работоспособности оборудования необходимо выполнить компенсацию колебаний, создаваемых технологическим оборудованием вследствие смещений плавучей мастерской в результате внешних возмущений. Они определяются сезонными условиями заданных акваторий. В частности, скорость течения может достигать $1,5 \text{ м/с}$, степень морского волнения – $5 \dots 6$ баллов, скорость ветра – 25 м/с и более

На плавучее основание ПРМ воздействуют возмущающие силы ветра, течения и морского волнения. Воздействие ветра может быть оценено путем измерения скорости и направления ветра румбоанемометрами, установленными на плавучем основании, и расчета аэродинамических сил по известным соотношениям [1, 2]:

$$\begin{aligned} F_{x\beta} &= C_{x\beta}(\beta) \rho_{\beta} S_{x\beta} V_{\beta}^2 / 2, \\ F_{y\beta} &= C_{y\beta}(\beta) \rho_{\beta} S_{y\beta} V_{\beta}^2 / 2, \\ M_{z\beta} &= C_{m\beta}(\beta) \rho_{\beta} S_{y\beta} L_{\beta} V_{\beta}^2 / 2, \end{aligned}$$

где $C_{x\beta}$, $C_{y\beta}$, $C_{m\beta}$ – аэродинамические коэффициенты плавучего основания – функции от угла ветра β ; ρ_{β} – удельная плотность воздуха; V_{β} – скорость ветра относительно плавучего основания; $S_{x\beta}$, $S_{y\beta}$, L_{β} – эффективные площади сопротивления и характерная длина ПРМ.

Параметры $S_{x\beta}$, $S_{y\beta}$, L_{β} , $C_{x\beta}(\beta)$, $C_{y\beta}(\beta)$, $C_{m\beta}(\beta)$ могут быть с достаточной точностью определены при испытаниях масштабных моделей и уточнены при экспериментах.

Скорость ветра определяется суммой следующих составляющих:

$$V_{\beta} = V_{\beta 0} + V_{m\beta},$$

где $V_{\beta 0}$ – средняя скорость ветра, $V_{m\beta}$ – волновая составляющая.

Волновая составляющая является стационарной центрированной функцией времени [2]. Ее корреляционная функция практически совпадает с соответствующей характеристикой волновых ординат, отличаясь дисперсией.

Согласно существующим представлениям [3] морское волнение представляет собой суперпозицию большого числа плоских (двумерных) волновых систем, распространяющихся под различными углами к генеральному направлению бега волн. Последнее, в случае ветров постоянного направления, через 4...6 часов совпадает с направлением ветра.

Математическое описание ветрового волнения производится на основе обработки и аппроксимации экспериментальных данных. К настоящему времени известно более десяти форм представления спектра волнения, например, спектр, предложенный Международной конфедерацией опытовых бассейнов МКОБ)

$$S(w) = A w^{-5} \exp(-B w^4),$$

где $A = 8,1 \cdot 10^{-3} g^2$; $B = 3,11 \cdot h_{1/3}^2$; g – ускорение силы тяжести в заданной точке; $h_{1/3}$ – высота волны 1/3 обеспеченности; w – угловая частота волнения.

Наиболее точным по существующим представлениям является описание морского волнения суперпозицией волновых систем [4]. Энер-

гетические спектры двумерного и трехмерного волнения связаны соотношением:

$$\int_0^{\infty} S_r(w) dw = \int_0^{\infty} \int_{-\pi}^{\pi} S_r(w, \alpha) d\alpha dw,$$

где α – угол распространения плоской системы волн относительно генерального направления.

Для описания энергетического спектра трехмерного волнения обычно используется формула Артура [4].

Подстановка позволяет записать выражение спектральной плотности трехмерного морского волнения, действующего на плавучее основание, расположенное под углом χ к генеральному направлению бега волн.

Для определения динамических характеристик несущей системы, а именно, амплитудно-частотных и амплитудно-фазовых частотных характеристик, необходимо наличие динамических моделей технологических систем (ТС) станка, которые могут быть построены на основе конкретной расчетной схемы.

Так, для круглошлифовального станка модели 3М151 расчетная схема приведена в работе [5]. Однако в реальности такие многомассовые системы представляют собой довольно сложные и громоздкие математические модели, в связи с чем их заменяют упрощенными эквивалентными схемами.

Одна из таких предложенных схем [7] позволяет проиллюстрировать динамику перемещений центров круга, заготовки и изменения фактической глубины резания в процессе круглого наружного шлифования.

В работе [7] на основе принципа возможных перемещений, для системы построена ее модель в виде совокупности дифференциальных уравнений, характеризующих динамику перемещений центров круга, заготовки и изменения фактической глубины резания.

Для исходного положения заготовки в момент начала ее контакта с инструментом

$$(L_0 = R_0 + r_0; S_0 = 0; x_{10} = 0; x_{20} = 0; t_f = 0)$$

система уравнений в отклонениях запишется:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + h_1 \dot{x}_1 + c_1 x_1 + h_3 (\dot{x}_1 + \dot{R}) + c_3 (x_1 + \Delta R) - \\ - h_3 (\dot{x}_2 - \dot{r}) - c_3 (x_2 - \Delta r) - h_1 \dot{S} - c_1 S = 0, \\ m_2 \ddot{x}_2 + h_2 \dot{x}_2 + c_2 x_2 + h_3 (\dot{x}_2 - \dot{r}) + c_3 (x_2 - \Delta r) - \\ - h_3 (\dot{x}_1 + \dot{R}) - c_3 (x_1 + \Delta R) = 0. \end{cases}$$

Вследствие вращения круга и заготовки вариации геометрических размеров имеют периодический или почти периодический харак-

тер, что и объясняет появление внутренних возбуждающих сил, существенно определяющих динамику процесса шлифования.

Для решения задач моделирования динамики процесса целесообразно записать последнее соотношение совместно с уравнением наблюдений.

В матричной форме пространства состояний система приобретает вид:

$$\dot{Y}_0 = A_0 \cdot Y_0 + B_0 \cdot \Psi + C_0 \cdot U;$$

$$Z_0 = E_0 \cdot Y_0 + F_0 \cdot V_0;$$

$$T_0 = Q_0 \cdot Z_0,$$

$$\text{где } \dot{Y}_0 = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix}, Y_0 = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}$$

$$A_0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{c_1+c_3}{m_1} & -\frac{h_1+h_3}{m_1} & \frac{c_3}{m_1} & \frac{h_3}{m_1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{c_3}{m_2} & \frac{h_3}{m_2} & -\frac{c_2+c_3}{m_2} & -\frac{h_2+h_3}{m_2} \end{bmatrix},$$

$$U = \begin{bmatrix} S \\ \dot{S} \end{bmatrix}, \Psi = \begin{bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \end{bmatrix},$$

$$\Psi_1 = [\Delta R + \Delta r], \Psi_2 = [\dot{R} + \dot{r}]$$

$$B_{01} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{c_3}{m_1} \\ 0 \\ \frac{c_3}{m_2} \end{bmatrix}, B_{02} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{h_3}{m_1} \\ 0 \\ \frac{h_3}{m_2} \end{bmatrix}, C_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{c_1}{m_1} & \frac{h_1}{m_1} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B_0 = [B_{01} \ B_{02}],$$

где Y_0 – вектор (матрица-столбец), представляющая вектор состояния системы, $\dot{Y}_0$ – вектор производных состояний системы, A_0 – матрица, характеризующая динамические свойства системы, B_0 – матрица параметров влияния отклонений формы детали и круга, Ψ – вектор состояний отклонений формы детали и круга от номинальных параметров, C_0 – матрица управления процессом, U – вектор управляющих воздействий, связанный с поперечной подачей.

$$E_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, F_0 = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix},$$

$$V_0 = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}, T_0 = [t_f] \quad Q_0 = \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix},$$

где E_0, F_0, V_0, T_0 , – матрица состояния измерений, матрица интенсивностей шумов измерителей; матрица независимых гауссовых белых шумов измерителей единичной интенсивности, матрица глубины резания и матрица преобразования совокупных измерений соответственно.

Оцененная таким образом глубина резания t_f несвободна как от погрешностей, определяемых качеством процесса измерений шумами измерителей, так и от влияния случайных составляющих отклонений форм детали и круга от номинальных и внешних возмущений.

Для повышения качества обработки прецизионные станки должны быть защищены от вибраций соседних установок. При монтаже некоторых станков (шлифовальных, точных токарно-винторезных, балансировочных и т.п.) на фундаментах первой группы, когда роль собственно фундамента выполняет станина, практикуют в качестве антивибрационного мероприятия установку станков на виброизолирующих опорах. При недостаточно тщательном подборе или при изменении режима работы станка упругие элементы могут вызывать даже усиление вибраций.

Однако, в тех случаях, когда требуется особо высокая чистота обработанной поверхности или когда источник большой вибрации находится поблизости, то вышеуказанный способ виброизоляции является недостаточным.

Повышение качества обработки деталей непосредственно связано с необходимостью ослабления вынужденных колебаний станка, передаваемых через поверхность палубы от внешних источников. Уровень вынужденных колебаний станка снижается при установке его на виброизолирующие устройства.

Как правило, на палубах плавучих мастерских фиксация станков обеспечивается фундаментом, который не обеспечивает достаточного уровня виброизоляции из-за значительных колебательных воздействий, как от внешнего оборудования, так и от внешней среды через плавучее основание и поверхность палубы.

Традиционные виброизолирующие опоры металлорежущих станков [5] выполнены на основе виброизоляторов, различающихся упруго-демпфирующими характеристиками, различ-

ным сочетанием виброизолирующих и ударно-защитных свойств, долговечностью, способностью функционировать в тех или иных климатических условиях, а также чисто конструктивными особенностями – габаритами, способом монтажа и т.д., не могут быть использованы на плавучих мастерских по причине невозможности их функционирования в условиях качки плавучего основания и горизонтальных смещений под ее воздействием [7].

Полученная таким образом расширенная модель будет представлять собой стохастическое описание процесса съема материала при взаимодействии абразивного инструмента, заготовки и источника внешних возмущений и послужит основой для определения стохастических представлений основных технологических показателей процесса обработки в условиях ПРМ, что является задачей дальнейших исследований.

Список литературы

1. Лернер Д.М. Управление морскими подвижными объектами / Д.М. Лернер, Ю.А. Лукомский, В.А. Михайлов и др. – Л.: Судостроение, 1979. – 271 с.
2. Волосенко Е.Б. К вопросу воздействия ветровой нагрузки на судно / Е.Б. Волосенко // Мореходность и управляемость судов. – Л.: Судостроение, 1988, Вып. 105. – С. 53-60.
3. Луговский В.В. Динамика моря/ В.В. Луговский. – Л.: Судостроение, 1976. – 200 с.
4. Бородай И.К. Качка судов на морском волнении/ И.К. Бородай, Ю.А. Нецветаев. – Л.: Судостроение, 1989. – 432 с.
5. Братан С.М. Анализ влияния колебаний, передаваемых через фундамент станка, на качество процесса шлифования/ С.М. Братан, Е.А. Владецкая. – Вестник НТУ «ХПИ». – Сб. научн. трудов. - № 35, 2008. – с. 13-22.
6. Владецкая Е.А. Определение состояния равновесия динамической системы при круглом внутреннем шлифовании / Е.А. Владецкая, С.М. Братан, Д.А. Каинов// Оптимизация производственных процессов. – 2009. – № 11. – С. 102-106.
7. Братан С.М. Повышение качества деталей при шлифовании в условиях плавучих мастерских / С.М. Братан, Е.А. Владецкая, Д.О. Владецкий, А.О. Харченко. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 154 с. – (Научная книга).

References

1. Lerner D.M. Upravleniye morskimi podvizhnymi ob'yektami (Management of marine moving objects) / D.M. Lerner, YU.A. Lukomskiy, V.A. Mikhaylov i dr. – L.: Sudostroyeniye, 1979. – 271 s.
2. Volosenko Ye.B. K voprosu vozdeystviya vetrovoy nagruzki na sudno (On the issue of the effect of wind load on a ship) // Morekhodnost' i upravlyayemost' sudov. – L.: Sudostroyeniye, 1988, Vyp. 105. – S. 53-60.
3. Lugovskiy V.V. Dinamika moray (Sea dynamics) / V.V. Lugovskiy. – L.: Sudostroyeniye, 1976. – 200 s.
4. Boroday I.K. Kachka sudov na morskoy volnenii (Pumping of ships on sea waves) / I.K. Boroday, YU.A. Netsvetayev. – L.: Sudostroyeniye, 1989. – 432 s.
5. Bratan S.M. Analiz vliyaniya kolebaniy, peredavayemykh cherez fundament stanka, na kachestvo protsessy shlifovaniya (Analysis of the influence of vibrations transmitted through the foundation of the machine on the quality of the grinding process) / S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya. – Vestnik NTU «KHPI». – Sb. nauchn. trudov. - № 35, 2008. – s.13-22.
6. Vladetskaya Ye.A. Opredeleniye sostoyaniya ravnovesiya dinamicheskoy sistemy pri kruglom vnutrennem shlifovanii (Determination of the equilibrium state of a dynamic system during circular internal grinding) / Ye.A. Vladetskaya, S.M. Bratan, D.A. Kai-nov// Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov. – 2009. – № 11. – S. 102-106.
7. Bratan S.M. Povysheniye kachestva detaley pri shlifovanii v usloviyakh plavuchikh masterskikh (Improving the quality of parts during grinding in the conditions of floating workshops) / S.M. Bratan, Ye.A. Vladetskaya, D.O. Vladetskiy, A.O. Kharchenko. – M.: Vuzovskiy uchebnik: INFRA-M, 2018. – 154 s. – (Nauchnaya kniga).

УДК 681.5.01

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММИРУЕМОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ РОБОТОМ В АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ТЕРМООБРАБОТКИ ВИРТУАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

С.Е. Лимонов¹, М.А. Борисов²

¹студент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г.Чебоксары, пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail: limonov.mbf@gmail.com

²доцент ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», г.Чебоксары, пр-т Московский, 15, Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail:borisovmgou@mail.ru

Аннотация

Владение основами автоматизации производственных процессов актуально для будущих инженерно-технических работников промышленных предприятий. В данной статье рассмотрены вопросы, связанные с обучением студентов элементам моделирования процесса автоматического управления перемещениями транспортной платформы имитатора робота в автоматической линии термообработки виртуальных деталей. Для этих целей создан лабораторный комплекс. Он позволяет не только ознакомиться с современными компьютерными информационными технологиями, но и поработать с реальной аппаратурой. В его состав входят программируемые терморегуляторы, эмуляторы термических печей и имитатор транспортного робота. Программирование терморегуляторов и шагового привода линейных перемещений имитатора транспортного робота осуществляется с применением персонального компьютера. Программируемое устройство для моделирования процесса управления перемещениями транспортной платформы имитатора транспортного робота в автоматической линии термообработки виртуальных деталей успешно применяется на машиностроительном факультете ЧГУ имени И.Н.Ульянова.

Ключевые слова: автоматизации производственных процессов, моделирование, автоматическое управление, транспортный робот, программирование, управляющая программа

DEVELOPMENT OF THE PROGRAMMABLE DEVICE FOR MODELING THE PROCESS OF MANAGING THE TRANSPORT ROBOT IN THE AU- TOMATIC LINE THERMAL PROCESSING OF VIRTUAL DETAILS

S.E. Limonov¹, M.A. Borisov²

¹student of FSBEI of HE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanova ", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: limonov.mbf@gmail.com

²Associate Professor FSBEI HE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanova ", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: borisovmgou@mail.ru

Abstract

Possession of the basics of automation of production processes is relevant for future engineers and technicians of industrial enterprises. This article discusses issues related to teaching students the elements of modeling the process of automatic control of the movement of the transport platform of the robot simulator platform in the automatic line for the heat treatment of virtual parts. For these purposes, a laboratory complex has been created. It allows not only to get acquainted with modern computer information technologies, but also to work with real equipment. It includes programmable temperature controllers, thermal furnace emulators and a transport robot simulator. Programming of temperature regulators and a step drive of linear movements of a transport robot simulator is carried out using a personal computer. A programmable device for simulating the control process of a transport robot simulator was integrated into an existing laboratory bench for modeling the process of automatic temperature control. The resulting laboratory complex allows training, both in the programming of temperature controllers and in the programming of step engines. The developed and manufactured programmable device for simulating the process of controlling the movements of the

transport platform of the transport robot simulator in the automatic heat treatment line of virtual parts is successfully used at the engineering department of the CHU named after I.N. Ulyanov.

Keywords: automation of production processes, modeling, automatic control, transport robot, programming, control program

Существенный вклад в повышение производительности и качества обработки изделия вносит робототехника. Однако, ввод в эксплуатацию роботизированной ячейки, а так же обучение специалистов (в том числе и студентов) в условиях реального производства может оказаться весьма затратным с точки зрения финансов и времени.

Используемые при обучении компьютерные информационные технологии наглядно поясняют теорию реальных процессов и объектов, но не дают возможности поработать с реальной аппаратурой [1-8].

Поэтому актуальна разработка реальных устройств, которые позволяют моделировать процессы управления роботами для транспортирования виртуальных технологических объектов.

Для моделирования процесса автоматического управления температурой на кафедре «Технология машиностроения» ЧГУ имени И.Н.Ульянова применяется лабораторный стенд.

На лабораторном стенде (рис.1) имитируется процесс закалки и отпуска виртуальных деталей на виртуальной автоматической линии термообработки



Рис. 1. Общий вид стенда.

Лабораторный стенд состоит из корпуса, на лицевой панели которого установлены двухканальный программируемый терморегулятор ТРМ151-01, одноканальный программируемый терморегулятор ТРМ151-10, два эмулятора ЭП-10 электрических печей и один эмулятор емкости с закалочной средой. Терморегулятор ТРМ151-01 управляет температурой в эмуляторах закалочной и отпускной печей, а терморегулятор ТРМ151-10 управляет температурой емкости с закалочной средой. Программирование терморегуляторов осуществляется с применением персонального компьютера.

Цель работы состоит в модернизации лабораторного стенда путем разработки программируемого устройства для моделирования процесса управления перемещениями транспортной платформы имитатора транспортного робота в автоматической линии термообработки виртуальных деталей.

Для достижения поставленной цели был разработан и изготовлен лабораторный образец программируемого устройства (рис.2). Он оснащен имитатором робота линейных перемещений виртуальных деталей. Горизонтальные перемещения имитируют перенос деталей между термическими печами и емкостью с закалочной средой, а вертикальные перемещения – их загрузку в печи и емкость и выгрузку из печей и емкости. Перемещения транспортной платформы осуществляется поочередно по двум парам направляющих посредством двух шаговых двигателей и пар винт-гайка.

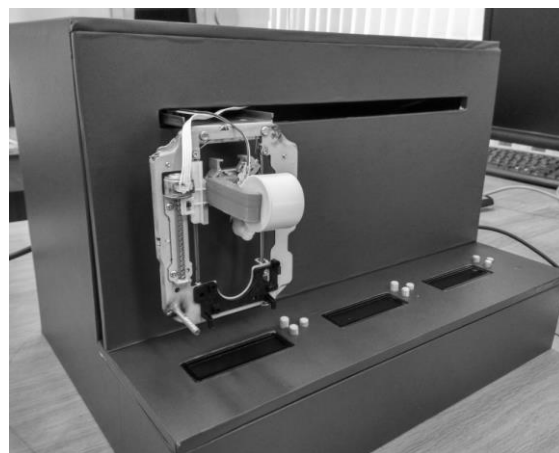


Рис. 2. Лабораторный образец программируемого устройства.

Для разработки программируемого устройства были использованы некоторые решения автоматизации, созданные на базе платформы Arduino [9-13].

Программируемое устройство содержит Arduino Mega 2560 - программируемый контроллер на базе ATmega2560, два шаговых двигателя, модуль драйвера двигателей L298N, драйвер двигателей L293D, буквенно-цифровой LCD дисплей 2 строки по 16 символов, кнопки и блок питания от компьютера (рис. 3).

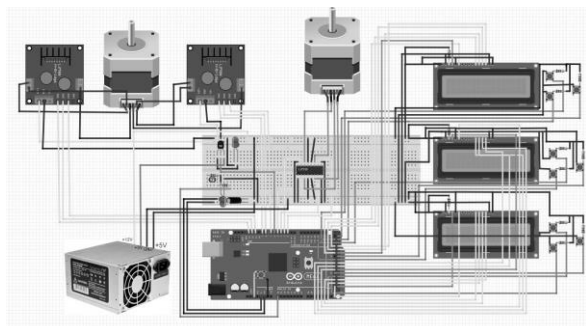


Рис. 3. Принципиальная схема программируемого устройства

На рис. 4 приведена блок-схема функционирования программируемого устройства.

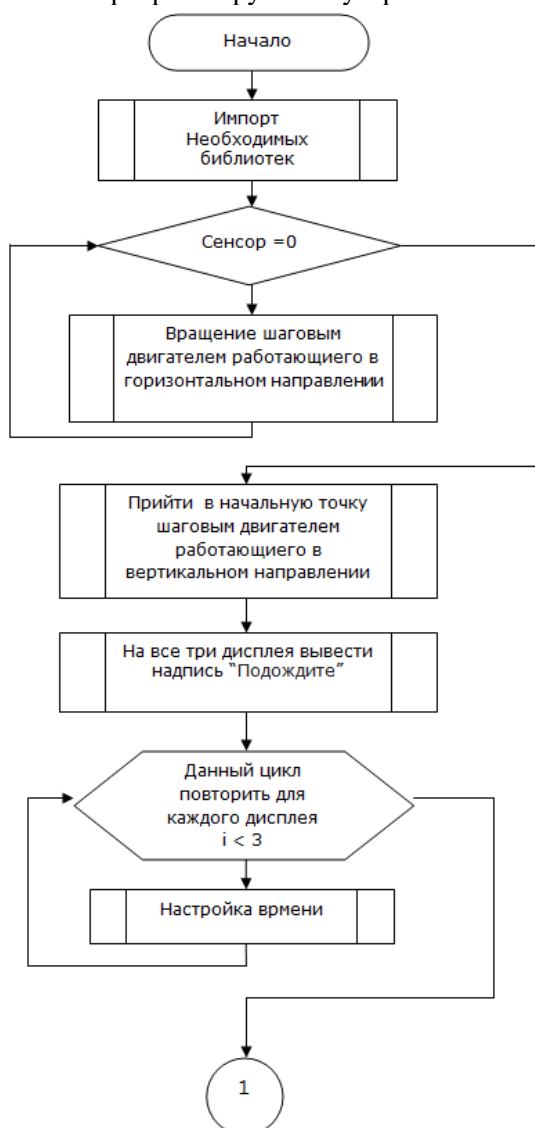


Рис.4. Блок-схема функционирования программируемого устройства.

В соответствии с блок-схемой была разработана управляющая программа. На рис. 5 приведен её фрагмент.

Устройство работает следующим образом. С помощью кнопок устанавливается время вы-

держки транспортной платформы в каждом из трех эмуляторов закалочных печей и емкости с закалочной средой в соответствии с разработанным маршрутом термообработки виртуальных деталей. Числовое значение времени выводится на дисплей. Программа запускается на исполнение. Транспортная платформа имитатора транспортного робота перемещается между эмуляторами и производит загрузку/выгрузку виртуальных деталей в соответствии с циклограммой его работы.

```

#include <ht.hpp>
ht ht;
void setup() {
  ht.setUp();
  int help_i = 0;
  while (!ht.getSensor()) {
    ht.backward_step(help_i % 4);
    help_i++;
  }
  ht.stop_GOR();
  ht.up(270);
  ht.stop_VERT();
  ht.waitTime();
  for (uint8_t i = 0; i < MAX_SCREEN; i++) {
    ht.settingTime(i);
  }
  for (uint8_t i = 0; i < MAX_SCREEN; i++) {
    if (i == 0) {
      ht.motion(POS_1);
    } else if (i == 1) {
      ht.motion(POS_2);
    } else if (i == 2) {
      ht.motion(POS_3);
    }
  }
  ht.down(270);
  ht.runningTime(i);
  ht.up(270);
}
ht.pressReset();
ht.stop_GOR();
ht.stop_VERT();
void loop() {
}
  
```

Рис.5. Фрагмент управляющей программы.

На рис.6 показано положение транспортной платформы в зоне её загрузки в эмулятор емкость с закалочной средой.

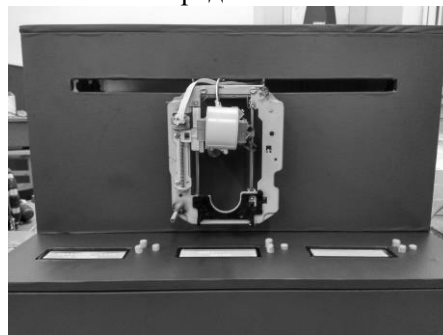


Рис.6. Положение транспортной платформы в зоне её загрузки в эмулятор емкости с закалочной средой.

Программируемое устройство для моделирования процесса управления имитатором транспортного робота было интегрировано в существующий лабораторный стенд для моделирования процесса автоматического управления температурой (рис. 7).

Полученный лабораторный комплекс позволяет проводить обучение, как по программированию терморегуляторов, так и по программированию шаговых двигателей. При этом для согласованной работы указанных устройств проводится дополнительно обучение по разработке циклограмм их функционирования.



Рис.7. Лабораторный комплекс.

Список литературы

1. Фролов О. Ю. Использование виртуальных моделей роботов для проведения лабораторных работ. Фролов О. Ю., Шипулин А. Е. // Молодой ученый. - 2011. — №4. Т.1. - с. 70-76.
2. Борисов М.А. Гибридная технология электрохимической обработки сложнопрофильных изделий/ Борисов М.А., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С.// Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2019. Т. 21. № 1. С. 25-34.
3. Борисов М.А. Устройство для электроабразивной обработки/ Борисов М.А., Дементьев Д.А., Мишин В.А.// Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2016. № 4. С. 101-102.
4. Скиба В. Ю. Гибридное металлообрабатывающее оборудование: повышение эффективности технологического процесса обработки деталей при интеграции поверхностной закалки и абразивного шлифования = Hybrid metal working equipment: improving the effectiveness of the details processing under the integration of surface quenching and abrasive grinding : монография / В. Ю. Скиба, В. В. Иванцовский. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. - 312 с. - 100 экз. - ISBN 978-5-7782-3690-5.
5. Борисов М.А. Моделирование процесса автоматического управления температурой на лабораторном стенде/ Борисов М.А.// Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. Материалы I-ой Международной научно-практической конференции. Чебоксары. ЧГУ имени И.Н.Ульянова. 2015. с. 222-230.
6. Nosenko V.A., Nosenko S.V., Zhukov V.K., Vasilev A.A. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel. Russian Engineering Research. 2008. Т. 28. № 5. Р. 442-449.
7. Братан С.М., Богущкий В.Б., Новоселов Ю.К., Рошупкин С.И.. Моделирование процесса стохастического взаимодействия инструмента и заготовки на операциях шлифования. Научные технологии в машиностроении. 2017. № 5 (71). С. 9-18.
8. Захаров О.В. Наладка бесцентровых суперфинишных станков на основе численного моделирования и оптимизации / О.В. Захаров // Вестник машиностроения. 2003. № 12. С. 48-50.
9. Борисов М.А. Разработка конструкции устройства для автоматического управления потоком жидкости, подаваемого к нескольким потребителям/ Борисов М.А., Мишин С.А.//Современные технологии в машиностроении и литейном производстве материалы III Международной научно-практической конференции. 2017. с. 201-206.

10. Борисов М.А. Разработка конструкции и алгоритма функционирования программируемого устройства для автоматического управления процессом выборочной доставки жидкости/ Борисов М.А., Григорьев В.С.//Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. Материалы II-ой международной научно-практической конференции. Чебоксары; Чуваш. гос. ун-т, 2016. с. 243-246
11. Борисов М.А. Разработка конструкции программируемого устройства для автоматического управления согласованной работой серводвигателя и насоса/ Борисов М.А., Мишин В.А.// Проектирование и перспективные технологии в машиностроении и металлургии. Материалы II-ой Республиканской научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; ФГБОУ ВПО "Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова". 2016. с. 104-110.
12. Борисов М.А. Разработка программируемого устройства для управления параметрами тока при электрохимической обработке/ Борисов М.А., Мишин В.А., Деметьев Д.А.// В сборнике: Проектирование и перспективные технологии в машиностроении, металлургии и их кадровое обеспечение. Материалы III-ей Всероссийской научно-практической конференции. Ответственный редактор И.Е. Илларионов. 2017. С. 188-192.
13. Борисов М.А. Разработка меню устройства для автоматического управления потоком жидкости/ Борисов М.А., Мишин С.А.// В сборнике: Современные технологии в машиностроении и литейном производстве. Материалы IV Международной научно-практической конференции. Под редакцией И.Е. Илларионов. 2018. С. 498-502.

References

1. Frolov O. Yu. Ispol'zovanie virtual'nykh modelei robotov dlya provedeniya laboratornykh работ. Frolov O. Yu., Shipulin A. E. // Molodoi uchenyi. - 2011. — №4. Т.1. - с. 70-76.
2. Borisov M.A. Gibrindnaya tekhnologiya ehlektrokhimicheskoi obrabotki slozhnoprofil'nykh izdelii/ Borisov M.A., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S.// Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty). 2019. Т. 21. № 1. S. 25-34.
3. Borisov M.A. Ustroistvo dlya ehlektroabrazivnoi obrabotki/ Borisov M.A., Dement'ev D.A., Mishin V.A.// Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii. 2016. № 4. S. 101-102.
4. Skiba V. Yu. Gibrindnoe metalloobrabatyvayushchee oborudovanie: povyshenie ehffektivnosti tekhnologicheskogo protsessa obrabotki detalei pri integratsii poverkhnostnoi zakalki i abrazivnogo shlifovaniya = Hybrid metal working equipment: improving the effectiveness of the details processing under the integration of surface quenching and abrasive grinding : monografiya / V. Yu. Skiba, V. V. Ivantsivskii. - Novosibirsk : Izd-vo NGTU, 2018. - 312 s. - 100 ehkz. - ISBN 978-5-7782-3690-5.
5. Borisov M.A. Modelirovanie protsessa avtomaticheskogo upravleniya temperaturai na laboratornom stende/ Borisov M.A.// Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve. Materialy I-oi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Cheboksary. CHGU imeni I.N.Ul'yanova. 2015. s. 222-230.
6. Nosenko V.A., Nosenko S.V., Zhukov V.K., Vasilev A.A. Deep grinding of incomplete-cycle surfaces, with periodic straightening of the wheel. Russian Engineering Research. 2008. Т. 28. № 5. P. 442-449.
7. Bratan S.M., Bogutskii V.B., Novoselov Yu.K., Roshchupkin S.I.. Modelirovanie protsessa stokhasticheskogo vzaimodeistviya instrumenta i zagotovki na operatsiyakh shlifovaniya. Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii. 2017. № 5 (71). S. 9-18.
8. Zakharov O.V. Naladka bestsentrovnykh superfinishnykh stankov na osnove chislennogo modelirovaniya i optimizatsii / O.V. Zakharov // Vestnik mashinostroeniya. 2003. № 12. S. 48-50.
9. Borisov M.A. Razrabotka konstruksii ustroistva dlya avtomaticheskogo upravleniya potokom zhidkosti, podavaemogo k neskol'kim potrebitelyam/ Borisov M.A., Mishin S.A.//Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. 2017. s. 201-206.
10. Borisov M.A. Razrabotka konstruksii i algoritma funktsionirovaniya programmiruемого ustroistva dlya avtomaticheskogo upravleniya protsessom vyborochnoi dostavki zhidkosti/ Borisov M.A., Grigor'ev V.S.//Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve. Materialy II-oi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Cheboksary; Chuvash. gos. un-t, 2016. s. 243-246
11. Borisov M.A. Razrabotka konstruksii programmiruемого ustroistva dlya avtomaticheskogo upravleniya soglasovannoi rabotoi servodvigatelya i nasosa/ Borisov M.A., Mishin V.A.// Proektirovanie i perspektivnye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve. Materialy II-oi Respublikanskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Ministerstvo obrazovaniya i nauki RF; FGBOU VPO "Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова". 2016. с. 104-110.
12. Borisov M.A. Razrabotka programmiruемого ustroistva dlya upravleniya parametrami toka pri ehlektrokhimicheskoi obrabotke/ Borisov M.A., Mishin V.A., Dement'ev D.A.// V sbornike: Proektirovanie i perspektivnye tekhnologii v mashinostroenii, metallurgii i ikh kadrovoe obespechenie. Materialy III-ei Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Otvetstvennyi redaktor I.E. Illarionov. 2017. S. 188-192.
13. Borisov M.A. Razrabotka menyuu ustroistva dlya avtomaticheskogo upravleniya potokom zhidkosti/ Borisov M.A., Mishin S.A.// V sbornike: Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i liteinom proizvodstve. Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Pod redaktsiei I.E. Illarionova. 2018. S. 498-502.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ МЕХАНО-ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НА ВИБРАЦИОННЫХ СТАНКАХ

В.В. Маковецкий¹ студент, Е.А. Левченко² канд. техн. наук

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: lokan717@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: ealev1978@mail.ru

Аннотация

Исследован механизм формирования цинкового покрытия на деталях из углеродистых сталей в условиях вибрационной обработки и установлено, что для осуществления совмещенного процесса вибрационной обработки и нанесения цинкового покрытия на углеродистые стали необходима предварительная подготовка поверхности с целью ее активации и создания разности потенциалов на микрошероховатой поверхности для создания условий сцепления поверхностного слоя и цинкового порошка. Показано, что схватывание цинкового порошка поверхностью стали зависит от ее микротвердости, а также от соразмерности цинкового порошка и микрошероховатости поверхности. Определено, что максимальное содержание цинкового порошка на поверхности стали 3 с шероховатостью Ra 0,2-0,16 достигается через 20 мин обработки. Последующее увеличение продолжительности обработки способствует снижению содержания цинкового порошка на обрабатываемом изделии, что обусловлено увеличением температуры в рабочей среде. Установлено, что совмещенный процесс нанесения цинкового покрытия в химически активном рабочем растворе в среде стеклянных шаров, сопровождается смятием вершин шероховатости, характеризуется увеличением глубины впадин, что приводит как к увеличению площади контакта обрабатываемой поверхности и рабочих тел, так и к увеличению адгезионной прочности покрытия, а толщина цинкового покрытия зависит от параметров микрогеометрии поверхности реологических свойств образованной поверхности рабочего раствора, продолжительности и состава режимов обработки.

Ключевые слова: микротвердость, цинковое покрытие, вибрационная обработка, поверхностный слой, рабочая среда, углеродистая сталь.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF STEEL PROCESSING BY THE MECHANOCHEMICAL METHOD ON VIBRATION MACHINES

V.V. Makovetsky¹ student, E.A. Levchenko² cand. sc. tech.

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: lokan717@gmail.com

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: ealev1978@mail.ru

Abstract

The mechanism of the formation of a zinc coating on carbon steel parts under vibration processing was studied and it was found that for the combined process of vibration processing and the application of a zinc coating on carbon steel, preliminary surface preparation is necessary in order to activate it and create a potential difference on a micro-rough surface to create adhesion conditions surface layer and zinc powder. It was shown that the setting of zinc powder by the surface of steel depends on its microhardness, as well as on the proportionality of zinc powder and surface roughness. It was determined that the maximum content of zinc powder on the surface of steel 3 with a roughness Ra of 0.2-0.16 is achieved after 20 minutes of processing. A subsequent increase in the processing time helps to reduce the content of zinc powder on the workpiece, which is due to an increase in temperature in the working environment. It was found that the combined process of applying a zinc coating in a chemically active working solution in the environment of glass balls is accompanied by crushing of the roughness peaks, an increase in the depth of the depressions is characterized, which leads to both an increase in the contact area of the treated surface and working fluids, and to an increase in the adhesive strength of the coating, and the thickness of the zinc coating depends on the parameters of the surface microgeometry of the rheological properties of the formed surface of the working solution, the duration and composition of the regime processing.

Keywords: microhardness, zinc coating, vibration treatment, surface layer, working medium, carbon steel.

1. Введение

В современном машиностроении при создании новых видов изделий появляются новые эксплуатационные требования, обеспечивающие надежность и долговечность работы этих изделий.

Важным условием решения этих задач является разработка прогрессивных форм финишной технологии, в частности, методов отделки и нанесения покрытий.

Одним из эффективных методов обработки, позволяющих совмещать процессы механической обработки с одновременным нанесением покрытий, является вибрационная обработка деталей в различных технологических средах с использованием колебаний различного вида. Эффективность совмещенного процесса вибрационной обработки и нанесения покрытий определяется различным сочетанием как механического, так и химического воздействий. Вибрационная обработка обеспечивает изменение физико-механических свойств поверхностного слоя детали в результате воздействия низкочастотными колебаниями рабочей среды с определенной частотой и амплитудой. Она обладает широкими технологическими возможностями и универсальностью.

2. Основная часть

В связи с этим, исследования, направленные на разработку совмещенной технологии вибрационной обработки и нанесения покрытия на детали из различных материалов, являются актуальными и перспективными.

В настоящее время закономерность формирования защитных покрытий на деталях из различных материалов в условиях вибрационной обработки не до конца изучена. Причина этому - многообразие факторов, влияющих на физико-механические процессы при создании поверхностного слоя.

Таким образом, изучение совмещенного процесса вибрационной обработки и нанесения покрытий на различные материалы с целью интенсификации процесса за счет механохимического воздействия является актуальной научной и практической задачей.

Вибрационные методы обработки широко применяются на очистных, шлифовально-полировальных операциях [1-5]. Совершенствование вибрационных методов осуществляется как за счет расширения теоретической и конструкторских баз, так и за счет создания новых разновидностей обработки с новыми технологическими возможностями.

Наиболее важные эксплуатационные свойства деталей машин - коррозионная стойкость, усталостная прочность, определяются состоянием поверхностного слоя, которые в ряде случаев требуют определенного покрытия. Вибрационная обработка довольно часто применяется при оксидировании, пассивировании, фосфатировании поверхностей. Имеются разовые, не систематические исследования применения вибрационной обработки для нанесения различных покрытий. Ниже приведены экспериментальные исследования, результаты которых позволяют перейти к применению вибрационной обработки для ее использования на этих операциях.

Механохимическая подготовка поверхности детали в условиях вибрационной обработки осуществлялась за счет компонентов рабочей среды (стеклянные шарики диаметром 10 и 5 мм, раствор $ZnCl_2$, цинковый порошок).

Схватывание порошка цинка поверхностью стали происходит при образовании активных центров.

В качестве образцов для экспериментов были выбраны детали из стали 20 и 3 (рис.1).



Рис. 1. Образцы для экспериментов: а – сталь 20, покрытая слоем ржавчины до обработки (слева) и после цинкования в условиях вибрационной обработки (справа); б – сталь 3 без ржавчины до обработки (слева) и после цинкования в условиях вибрационной обработки (справа)

В результате пластической деформации имеет место коллективная активация за счет выхода дислокаций на контактные поверхности. На фотографии (рис. 2) приведены отпечатки, полученные при внедрении стеклянных шаров диаметром 5 – 10 мм в поверхностный слой стали 20 при относительной скорости деформации равной. Из фотографии (рис. 2) видно, что в области контактов шаров с поверхностью стали 20 находятся отдельные зерна цинкового порошка и вязкие слои цинк гидроксида.

Как видно из фотографии (рис. 3), следы отпечатков стеклянных шаров не накладываются друг на друга, а находятся на расстоянии равном диаметру отпечатка. В области отпечатка локализуются значительные скопления зерен цинка, а также зерна находятся на поверхности между отпечатками. Различие в кон-

центрации зерен в местах контакта ударных тел - стеклянных шаров и шероховатой поверхности стали 20 обусловлено как различной площадью поверхностной пленки (рис. 4), так и различной силой удара стеклянных шаров [6].

Площадь мостиков схватывания определяется рядом параметров, в том числе приложенной нагрузкой. Если приложенная нагрузка вызывает напряжения, превышающие предел упругости одного из контактирующих материалов, начинается пластическая деформация, которая приводит к росту площади мостика схватывания.

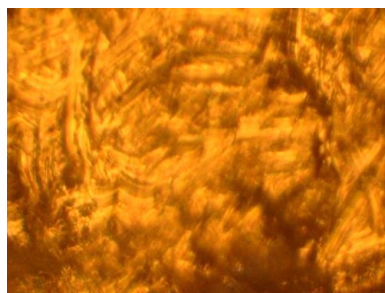


Рис. 2. Отпечаток площади контакта окисленной поверхности стали 20 ($Ra\ 11,5\ \mu\text{м}$) после внедрения стеклянного шара диаметром 10 мм при относительной скорости деформации ($\times 240$)

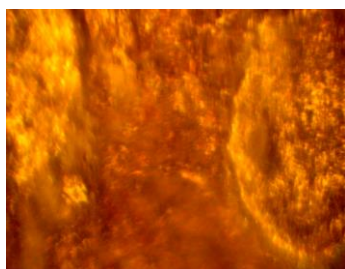


Рис. 3. Следы отпечатков площади контакта окисленной поверхности стали 20 ($Ra\ 11,5\ \mu\text{м}$) после внедрения стеклянных шаров диаметром 5 и 10 мм при относительной скорости деформации ($\times 240$)



Рис. 4. Стеклянные шары диаметром 5 и 10 мм с поверхностной пленкой рабочего раствора и зернами цинка в местах контакта между собой

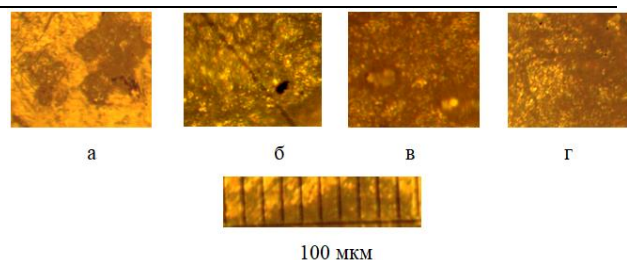


Рис. 5. Изменение характера аутогезии цинкового порошка от продолжительности вибрационной обработки при относительной скорости деформации поверхности Сталь 3 с $Ra\ 0,2-0,16\ \mu\text{м}$ в местах внедрения ударных тел ($\times 140$): а - 20 мин.; б - 30 мин.; в - 40 мин.; г - 60 мин.

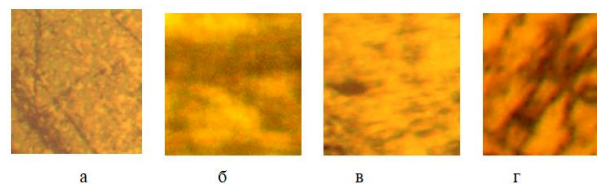


Рис. 6. Изменения характера адгезии цинкового порошка от продолжительности вибрационной обработки поверхности стали 3 с $Ra\ 0,2 - 0,16\ \mu\text{м}$ между отпечатками стеклянных шаров ($\times 140$): а - 20 мин.; б - 30 мин.; в - 40 мин.; г - 60 мин

Это хорошо видно из фотографий (рис. 5), где показано изменение структуры мостика схватывания цинкового порошка поверхностью стали 3.

Когда концентрация частиц цинкового порошка увеличивается в местах удара шаров, возникает аутогезия, которая приводит к взаимодействию коагулирующих скоплений частиц цинкового порошка. Наличие в составе рабочего раствора цинк гидроксида, который хорошо смачивает как поверхность стеклянных шаров, так и поверхность обрабатываемых сталей, обуславливает возникновение когезии [7-9].

При увеличении продолжительности обработки до 30 минут (рис.5, б) площадь мостика схватывания увеличивается. Структура коагулирующих скоплений цинкового порошка имеет форму шести и пятигранников. В последующие 30 минут происходит увеличение размеров структурированных образований, и исчезновение границ раздела между шести и пятигранниками.

На фотографиях (рис. 6) приведены изменения характера адгезии цинкового порошка между отпечатками стеклянных шаров в зависимости от продолжительности вибрационной обработки поверхности стали 3 с $Ra\ 0,2-0,16\ \mu\text{м}$ ($\times 140$).

Из фотографий (рис. 5) видно, что максимальное содержание цинкового порошка на поверхности стали 3 между отпечатками стеклянных шаров достигается через 20 минут. При

увеличении продолжительности обработки до 60 минут происходит уменьшение содержания цинкового порошка на поверхности стали 3.

Следовательно, на характер адгезии и аутогезии цинкового порошка влияет исходная шероховатость поверхности. Известно [2], что неоднородность металла, вызванная сегрегацией примесей, трещинами, остаточными напряжениями способствует внедрению поверхностей. Внедрение происходит тогда, когда жесткое тело имеет более шероховатую поверхность. Это хорошо согласуется с результатами экспериментов. На графике (рис. 7) приведены экспериментальные данные по определению скорости вбивания цинкового порошка в поверхность сталей в зависимости от ее шероховатости.

С увеличением продолжительности обработки стали 3 до 60 мин происходит увеличение температуры рабочей среды до 50°C, что приводит к уменьшению растворимости цинка. Следовательно, уменьшение скорости набивания цинка обусловлено увеличением температуры рабочей среды и ростом скорости растворения цинкового порошка на поверхности сталей [10].

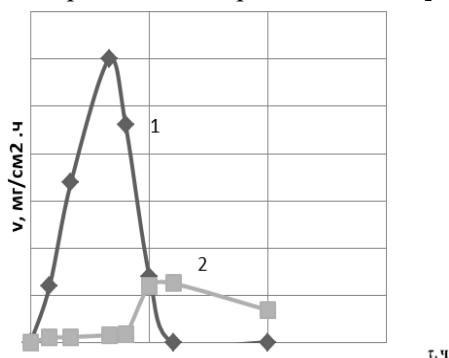


Рис. 7. Изменение скорости вбивания цинкового порошка на поверхность сталей в зависимости от её шероховатости и продолжительности обработки ($f=50$ Гц, $A=3,5$ мм): 1 - сталь 20 (Ra 11,5 мкм); 2 - сталь 3 (Ra 0,2-0,16 мкм)

В работе [8] установлено, что площадь формирующегося цинкового покрытия и его толщина зависят от шероховатости поверхности, площади отпечатка от внедрения стеклянных шаров, концентрации и соотношения энергий аутогезии и адгезии цинкового порошка, а также от изменения температуры и когезионной прочности продуктов растворения цинка.

В результате вибрационного шлифования в химически активных растворах осуществляется микрорезание и растворение выступов, а также проникновение рабочего раствора, содержащего ионы Cl^- во впадины, что приводит к увеличению их глубины.

По данным работы [1] установлено, что углубления впадин в поверхности приобретают отрицательный заряд по отношению к выступам.

На графике (рис. 8) приведено изменение шероховатости поверхности (Ra) в процессе виброабразивной обработки образцов стали 3 с применением химически активных растворов.

Наиболее эффективно обработка осуществляется в растворах 1 и 2.

На графике (рис. 9) приведена зависимость скорости растворения поверхностного слоя стали 3 в химически активных растворах от её продолжительности в результате виброабразивной обработки.

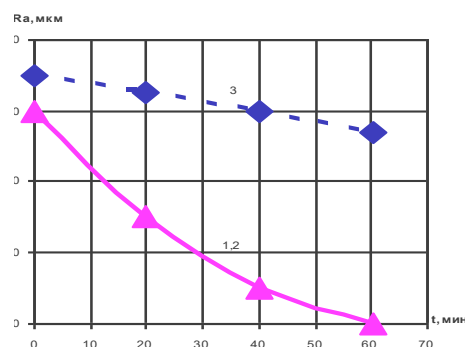


Рис. 8. Изменение шероховатости поверхности в процессе виброабразивного шлифования с применением химически активного раствора; 1, 2 – раствор №1 и №2; 3 – раствор №3

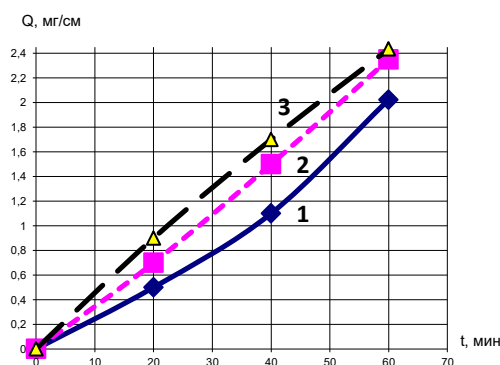


Рис. 9. Зависимость удельного съема металла стали 3 в химически активных растворах от продолжительности виброабразивной обработки: 1 – раствор №1; 2 – раствор №2; 3 – раствор №3

3. Заключение

В результате проведения исследований было установлено, что для осуществления совмещенного процесса вибрационной обработки деталей из стали 20 и нанесения цинкового покрытия необходимо работать с рабочими растворами с pH от 4 до 6 и рабочими телами из аморфного стекла. Определено, что существует зависимость от скорости формирования и растворения порошкового цинкового покрытия на сталях 3, 20 и 45 от технологических факторов.

Список литературы

1. E. Levchenko *Theoretical Foundations of Vibration Processing Modeling* / E. Levchenko, Yu. Deykun, Yu. Moroz *Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2018)* 2018. – S. 1519-1526. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_162.
2. E. Levchenko The study of dynamic characteristics during the vibration processing of parts, MATEC Web of Conferences 224, 01131 (2018) DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822401131>.
3. Левченко Е.А. Использование механохимического метода обработки сталей на вибрационных станках / Е.А. Левченко, Ю.В. Дейкун // Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастопольский государственный университет. – Севастополь: Изд-во ФГАОУ ВО СевГУ, 2018. – Вып. № 4. – С. 44 – 48.
4. Анпилогов В.А. Исследование влияния динамики массы загрузки и других факторов на интенсивность отделочных процессов объемной вибрационной обработки: дис. канд. техн. наук: 05.02.08 / В.А. Анпилогов. – Пермь, 2008. – 131 с.
5. Афанасьев Ю.В. Феррозонды. - М.: Энергия, 1998. - 165 с.
6. Бабичев А.П. Вибрационная обработка деталей / А.П. Бабичев. – М.: Машиностроение, 1996. – 134 с.
7. Бабичев А.П. Вибрационные станки для обработки деталей / А.П. Бабичев, В.Б. Трунин, Ю.М. Самодумский, В.П. Устинов. – М.: Машиностроение, 1984. – 168 с.
8. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / И.И. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. – М.: Наука, 1964. – 488 с.
9. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание / Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г.– М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
10. Дьяченко В.И. Исследование процесса вибрационной обработки / В.И. Дьяченко // Прогрессивные методы отделочной обработки деталей машин: сб. науч. тр. ЦНИИТМ. – Ростов-на-Дону, 1968. – С. 42-48.

References

1. E. Levchenko *Theoretical Foundations of Vibration Processing Modeling* / E. Levchenko, Yu. Deykun, Yu. Moroz *Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2018)* 2018. – S. 1519-1526. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_162.
2. E. Levchenko The study of dynamic characteristics during the vibration processing of parts, MATEC Web of Conferences 224, 01131 (2018) DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822401131>.
3. Levchenko E.A. Ispol'zovanie mekhanohimicheskogo metoda obrabotki stalej na vibracionnyh stankah / E.A. Levchenko, Yu.V. Dejgun // Vestnik sovremennyh tekhnologij: sb. nauch. tr. Sevasto-pol'skij gosudarstvennyj universitet. – Seva-stopol': Izd-vo FGAOU VO SevGU, 2018. – Vyp. № 4. – С. 44 – 48.
4. Anpilogov V.A. Issledovanie vliyaniya dinamiki massy zagruzki i drugih faktorov na intensiv-nost' otdelochnyh processov ob"emnoj vibra-cionnoj obrabotki: dis. ...kand. tekhn. nauk: 05.02.08 / V.A. Anpilogov. – Perm', 2008. – 131 s.
5. Afanas'ev Yu.V. Ferrozondy. - M.: Energiya, 1998. - 165 s.
6. Babichev A.P. Vibracionnaya obrabotka detalej / A.P. Babichev. – M.: Mashinostroenie, 1996. – 134 s.
7. Babichev A.P. Vibracionnye stanki dlya obra-botki detalej / A.P. Babichev, V.B. Trunin, Yu.M. Samodumskij, V.P. Ustinov. – M.: Mashinostro-enie, 1984. – 168 s.
8. Blekhman I.I. Vibracionnoe peremeshchenie / I.I. Blekhman, G.Yu. Dzhanelidze. – M.: Nauka, 1964. – 488 s.
9. Vinogradov V.N. Abrazivnoe iznashivanie / Vi-nogradov V.N., Sorokin G.M., Kolokol'nikov M.G.– M.: Mashinostroenie, 1990. – 224 s.
10. D'yachenko V.I. Issledovanie processa vibraci-onnoj obrabotki / V.I. D'yachenko // Progressiv-nye metody otdelochnoj obrabotki detalej ma-shin: sb. nauch. tr. CNIITM. – Rostov-na-Donu, 1968. – S. 42-48.

РАСШИРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПУТЕМ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОБРАБАТЫВАЕМЫЕ ДЕТАЛИ

Л.В. Смолдырев¹ студент, Е.А. Левченко² канд. техн. наук, доцент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: Smoldyrev97@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: ealev1978@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены результаты исследований, направленных на расширение технологических возможностей вибрационного оборудования с использованием технологии нанесения покрытий на обрабатываемые детали. Определено, что для осуществления совмещенного процесса вибрационной обработки деталей из стали 20 и нанесения цинкового покрытия необходимо работать с рабочими растворами с pH от 4 до 6 и рабочими телами из аморфного стекла. Установлено, что существует зависимость от скорости формирования и растворения порошкового цинкового покрытия на сталях 3, 20 и 45 от следующих технологических факторов: частоты и амплитуды колебаний контейнера, скорости перемещения деталей в контейнере, изменения микротвердости и микрошероховатости поверхностного слоя, pH и температуры рабочего раствора, величины потенциала заряженной поверхности обрабатываемой стали. Установлено, что площадь формирующегося цинкового покрытия и его толщина зависит от шероховатости поверхности, площади отпечатка от внедрения стеклянных шаров, концентрации и соотношения энергий аутогезии и адгезии цинкового порошка, а также от изменения температуры и когезионной прочности продуктов растворения цинка.

Ключевые слова: цинковое покрытие, контейнер, виброобработка, шероховатость поверхности, адгезия, прочность покрытия, структура, частота амплитуды колебаний.

EXPANDING THE TECHNOLOGICAL CAPABILITIES OF VIBRATORY EQUIPMENT BY COATING WORKPIECES

L.V.Smoldyrev¹ student, E.A. Levchenko² cand. sc. tech

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: Smoldyrev97@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: ealev1978@mail.ru

Abstract

The article discusses the results of studies aimed at expanding the technological capabilities of vibration equipment using the technology of coating on workpieces. It was determined that in order to carry out the combined process of vibration processing of parts made of steel 20 and applying a zinc coating, it is necessary to work with working solutions with pH from 4 to 6 and working bodies made of amorphous glass. It was established that there is a dependence on the rate of formation and dissolution of the zinc powder coating on steels 3, 20, and 45 on the following technological factors: the frequency and amplitude of the container's vibrations, the speed of movement of parts in the container, changes in the microhardness and roughness of the surface layer, pH and temperature of the working solution, the magnitude of the potential of the charged surface of the processed steel. It has been established that the area of the formed zinc coating and its thickness depends on the surface roughness, the imprint area on the introduction of glass balls, the concentration and ratio of the energies of self-adhesion and adhesion of zinc powder, as well as on changes in temperature and cohesive strength of zinc dissolution products.

Keywords: zinc coating, container, vibration treatment, surface roughness, adhesion, coating strength, structure, frequency of oscillation amplitude.

1. Введение

Традиционные способы нанесения защитных металлических покрытий, электролитиче-

ский и горячий способ нанесения покрытий в расплаве, имеют ряд существенных недостатков. Так, для электролитического способа, характерны такие недостатки, как необходимость

тщательной подготовки поверхности изделий, загрязнение сточных вод тяжелыми металлами. Для горячего метода нанесения покрытий из расплава – сложность получения равномерных по толщине покрытий на сложных по конфигурации изделиях, возможность коробления деталей, изменение состава расплава по мере его выработки, выделение паров металлов из расплава [1].

Современные требования к защите окружающей среды и необходимость решения проблемы водородной хрупкости изделий привели к разработке новых способов формирования и нанесения покрытий с использованием различных видов энергии.

2. Основная часть

Качественная и количественная оценка эффективности процесса осаждения металла в условиях виброобработки проводилась по величине удельного съема металла, а также по величине потенциала защищенного металла и скорости осаждения металла. Для этой цели использовались весовой анализ, рН-метрия, профилометрия, а также метод снятия поляризационных кривых в динамических условиях зачистки поверхности под слоем рабочего раствора [2].

С целью установления влияния состава рабочего раствора на потенциалы сталей 45, 3Х13, Х18Н9 и 12Х18Н10Т в статических условиях изучались электрохимические свойства различных марок сталей в растворах с различной концентрацией купрум (II) катионов на характер металлического покрытия в динамических условиях виброобработки.

Так как осаждение металла зависит от ряда факторов, то для получения адекватной оценки полученных результатов, исследования проводились в одинаковых технологических условиях: обработка осуществлялась на виброшлифовальном станке ВМИ-1003, объем контейнера – 25 л, объем загрузки – 2/3 объема контейнера; режим колебаний – амплитуда 3 мм; частота 42 Гц; объем исследуемого раствора – 1 л; время обработки – 1 час. В качестве абразивных гранул использовался бой шарошлифовальных кругов с карбидом кремния черный КЧ6 КВТ1-ЧТ грануляцией 25 – 30 мм. Исследуемые образцы были выполнены в виде цилиндров с общей обрабатываемой поверхностью – 1900 мм².

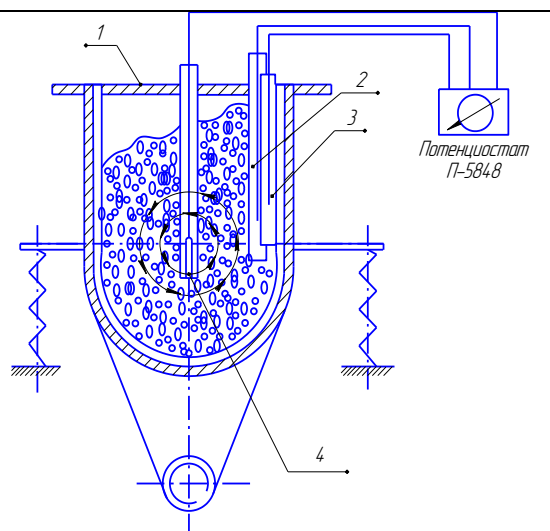


Рис. 1. Схема электрохимической ячейки в виброконтейнере: 1 - держатели; 2 – рабочий электрод; 3 – электрод сравнения; 4 – вспомогательный электрод

Таблица 1. Влияние состава электролита на скорость осаждения меди на поверхности различных марок сталей

Марка стали	Скорость растворения сталей в рабочих растворах, мг/см ² ч						
	HCl(0,5%) + HNO ₃ (1%)	HCl(0,5%) + HNO ₃ (1%) + CuCl ₂		HCl(0,5%) + HNO ₃ (1%) + CuSO ₄		HCl(0,5%) + HNO ₃ (1%) + Cu(NO ₃) ₂	
		0,1 %	0,5 %	0,1 %	0,5 %	0,1 %	0,5 %
45	11,9	12,9	16	9,2	11,8	14,3	9,8
3Х13	2,6	1,6	1,3	1,1	1,4	1,5	1,1
Х18Н9	0,49	0,45	0,45	0,4	0,39	0,43	0,43
12Х18Н10Т	0,38	0,38	0,36	0,38	0,37	0,4	0,44

Собственные колебания детали, установленной в приспособлении станка, зависят от С целью изучения электродных потенциалов различных марок сталей при зачистке поверхностей абразивными гранулами под слоем электролита, были проведены исследования, по определению потенциала сталей в специально собранной в виброконтейнере ячейке. Экспериментально это осуществлялось следующим образом. Образец с подготовленной поверхностью устанавливался в ячейку-контейнер (рис.1.) с исследуемыми растворами электролитов и наложения вибраций измеряли потенциал, значения которого измеряли потенциостатом.

том П-5848. Время выдержки образцов при каждом потенциале составляло 60 минут.

Для изучения влияния структуры стали на характер медного покрытия нами были выбраны стали с ферритно-перлитной (сталь 45), перлитной (сталь 3Х13), аустенитной (стали Х18Н9 и 12Х18Н10Т) структурами. В качестве рабочих растворов использовался раствор 1% нитратной кислоты, раствор на основе минеральных кислот состава: 0,5% HCl + 1% HNO₃, как без добавок, так и с добавками солей меди различной концентрации [3].

Результаты исследований по осаждению меди из раствора на основе 0,5% HCl + 1% HNO₃ с добавками солей купрума (II) приведены в (табл. 1).

Из (табл. 1) видно, что осаждение меди из рабочих растворов осуществляется только на стали 3Х13, хотя уменьшение съема металла наблюдается также и у сталей Х18Н9 и 12Х18Н10Т. Скорость осаждения меди на поверхности стали 3Х13 из растворов хлоридов и нитратов меди увеличивается от 1 мг/см² ч до 1,5 мг/см² ч при увеличении концентрации купрум (II) ионов от 0,1% до 0,5%. Скорость осаждения из сульфатных растворов меди уменьшается от 1,5 мг/см² ч до 1,2 мг/см² ч при увеличении концентрации купрум (II) ионов от 0,1% до 0,5%.

Для стали 45 купрум (II) ионы являются активаторами процесса растворения. В статических условиях и в динамических условиях виброобработки осуществляется процесс, приводящий к образованию медного покрытия по всей поверхности образца. Образующееся на большой скорости осаждения медное покрытие, характеризующееся крупнокристаллической структурой, непрочное удерживающееся на поверхности стали 45, которое легко удаляется при виброшлифовании. Влияние содержания купрума (II) сульфата на средний размер частиц меди приведено в (табл. 2).

Таблица 2. Влияние содержания купрума (II) сульфата на скорость осаждения и свойства медного покрытия на стали 45

Показатель процесса	Содержание CuSO ₄ , %		
	0,1	0,3	0,5
Средняя скорость осаждения, г/см ² ч	1,5	1,3	1,2
Средний размер частиц, мкм	90	82	79

С целью изучения электрохимических свойств различных марок сталей в рабочих растворах на основе минеральных кислот с различной концентрацией купрума (II) катионов на характер металлического покрытия в динамических условиях виброобработки, были сняты анодные и катодные поляризационные кривые.

На графиках (рис. 2 и 3) приведены анодные поляризационные кривые сталей 45 и 3Х13 в растворах минеральных кислот без добавки и с добавкой купрум (II) катионов.

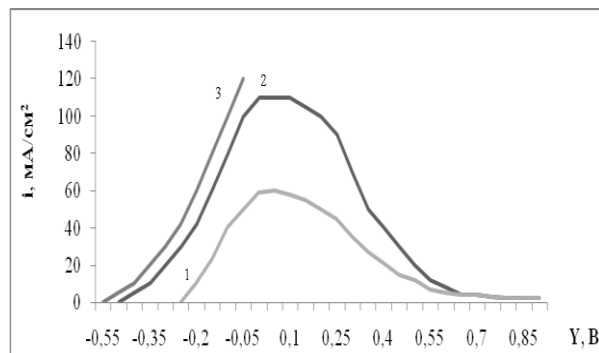


Рис. 2. Анодные поляризационные кривые стали 45: 1 - 1% HNO₃; 2 - HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) в статических условиях; 3 - HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) в динамических условиях виброобработки

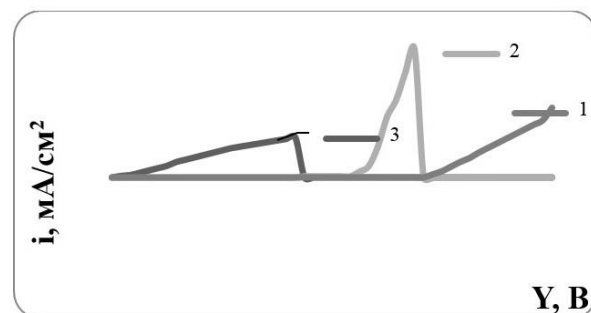


Рис.3. Анодные поляризационные кривые стали 3Х13: 1 - 1% HNO₃; 2 - HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) в статических условиях; 3 - HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) в динамических условиях виброобработки

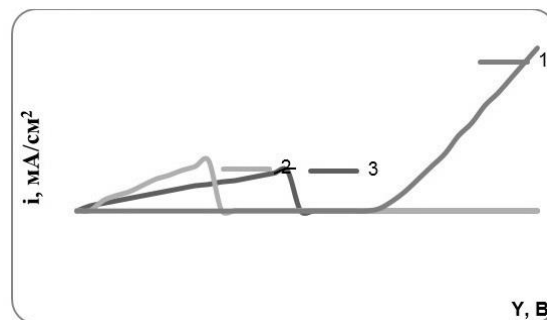


Рис. 4. Анодные поляризационные кривые стали Х18Н9: 1 - 1% HNO₃; 2 - HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) в статических условиях; 3 - HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) в динамических условиях виброобработки

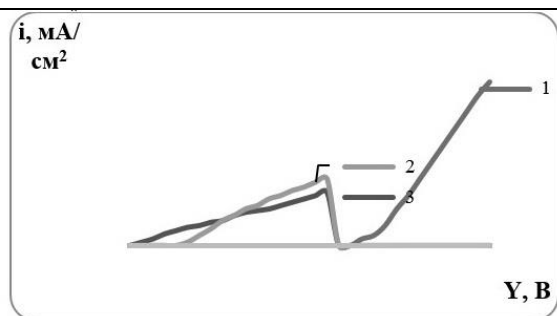


Рис. 5. Анодные поляризационные кривые стали 12X18H10T: 1 - 1% HNO₃; 2 – HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) в статических условиях; 3 – HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) в динамических условиях виброобработки

Из катодных поляризационных кривых стали 12X18H10T видно, что осаждение меди из кислых растворов ее соли происходит при потенциале -0,65В в статических условиях. В условиях виброобработки при зачистке защитной пленки шлифовальными зернами на поверхности стали образуются углубления.

В углублениях, в результате значительного замедления в доставке рабочего раствора, наступает его истощение. Концентрация рабочего раствора на выступах больше, чем в углублениях.

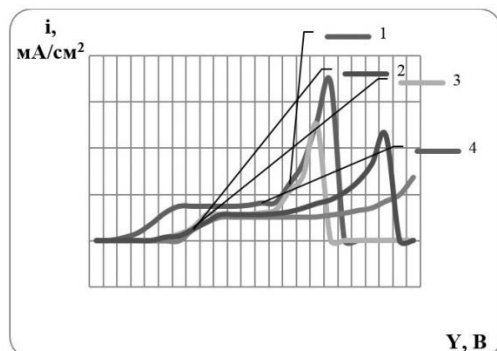


Рис.6. Катодные поляризационные кривые стали 12X18H10T в растворах: 1 – HCl (0,5%) + HNO₃ (1%); 2 – выдержка в 0,1% растворе CuCl₂; 3 – в растворе HCl (0,5%) + HNO₃ (1%) + 0,1% CuCl₂; 4 – катодная кривая меди

Область наиболее высокой плотности силовых линий тока сдвигается к углублениям, в результате здесь происходит повышенный катодный разряд и быстрый рост медного покрытия. Так как большая часть поверхности пассивирована, то осаждение меди осуществляется только в углублениях, поэтому наблюдается минимальный прирост массы осадка. Известно, что медь может выделяться из сульфатных растворов в виде зерен поликристаллического осадка с текстурой преимущественных ориентаций граней (011), характеризующихся плотностью упаковки 4,02.10¹⁵ VA-3/2. Так как VA – атомный объем для различных сталей неодинаков,

то плотность упаковки является также и функцией структуры стали [4].

О характере распределения медного осадка можно судить по изменению микрорельефа поверхности исследуемых сталей. В (табл.3) приведены данные по влиянию купрум (II) катионов на формирование микрорельефа поверхности сталей при виброобработке в различных рабочих растворах.

Из (табл. 3) видно, что микрорельеф стали 45 ухудшается из-за образующихся растратов поверхности. Улучшение поверхности наблюдается в большей степени для стали 3X13, чем для нержавеющей сталей.

Таблица 3 – Влияние купрум (II) катионов на формирование микрорельефа поверхности сталей при виброобработке в 1% растворе HNO₃

Марка стали	Добавка, %	Cu+2	
		Исходная шероховатость, мкм	Шероховатость после виброобработки в течение 60 мин
45	-0,15	0,49	0,43
	0,30	0,47	0,55
		0,48	0,59
3X13	-0,15	0,46	0,4
	0,30	0,48	0,38
		0,45	0,40
X18H9	-0,15	0,45	0,4
	0,30	0,47	0,44
		0,46	0,43
12X18H10T	-0,15	0,46	0,40
	0,30	0,48	0,47
		0,45	0,44

Установлено, что существует возможность осаждения меди на поверхности сталей 45, 3X13, X18H9 и 12X18H10T из кислых растворов хлоридов, нитратов, сульфатов меди без наложения внешнего тока в динамических условиях виброобработки.

Скорость осаждения меди и характер металлического осадка зависит от химического состава и структуры стали. Максимальная скорость осаждения меди достигается на активированной поверхности стали 45 с ферритно-перлитной структурой. Увеличение содержания купрум (II)-катионов от 0,1 до 0,5 % в кислых растворах хлорида и нитрида меди приводит к увеличению скорости осаждения меди на стали 3X13 от 1 до 1,5 мг/см² ч, и к уменьшению скорости ее осаждения от 1,5 до до 1,2 мг/см² ч из кислых сульфатных растворов меди. Осаждение меди на сталях X18H9 и 12X18H10T с

аустенитной структурой затруднено из-за пассивации поверхности, зависит от скорости обновления поверхности, имеет минимальное значение в пределах от 0,01 до 0,1 мг/см² ч. Увеличением скорости осаждения меди от 1 до 1,5 мг/см²ч микрошероховатость стали 3Х13 улучшается от 0,48 до 0,38 мкм, и незначительно изменяется от 0,45 до 0,4 мкм у нержавеющей сталей при увеличении содержания купрум (II)- катионов от 0,1 до 0,5% [3].

3. Заключение

Проведенными исследованиями установлено, что цинковое покрытие формируется за

счет воздействия как прямых, так и косых ударов рабочих тел. Показана зависимость скорости формирования цинкового покрытия в зависимости от пластических свойств стали. Снижение в 2 раза упругих свойств поверхностных слоев стали 45 за счет отжига приводит к увеличению толщины цинкового покрытия, полученного в условиях вибрационной обработки. Наибольшая плотность цинкового порошка и равномерное распределение цинка на поверхности стали 45 достигается через 20 мин её обработки.

Список литературы

1. Левченко Е.А. Использование механохимического метода обработки сталей на вибрационных станках / Е.А. Левченко, Ю.В. Дейкун // Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастопольский государственный университет. – Севастополь: Изд-во ФГАОУ ВО СевГУ, 2018. – Вып. № 4. – С. 44 – 48.
2. E. Levchenko Investigation of Thermal Processes in Abrasive Pipe Samplin/ E. Levchenko, N. Pokintelitsa, MATEC Web of Conferences, vol. 129, 01078 (2017) DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712901082>.
3. Левченко Е.А., Покинтелица Н.И., Харченко А.О. Теория и практика абразивной резки труб: монография – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 142 с. ISBN:9785955805993.
4. E. Levchenko Theoretical Foundations of Vibration Processing Modeling / E. Levchenko, Yu. Deykun, Yu. Moroz Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2018) 2018. – S. 1519-1526. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_162.

References

1. Levchenko E.A. Ispol'zovanie mekhanohimicheskogo metoda obrabotki stalej na vibracionnyh stankah / E.A. Levchenko, Yu.V. Dejgun // Vestnik sovremennyh tekhnologij: sb. nauch. tr. Sevasto-pol'skij gosudarstvennyj universitet. – Seva-stopol': Izd-vo FGAOU VO SevGU, 2018. – Vyp. № 4. – С. 44 – 48.
2. E. Levchenko Investigation of Thermal Processes in Abrasive Pipe Samplin/ E. Levchenko, N. Pok-intelitsa, MATEC Web of Conferences, vol. 129, 01078 (2017) DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712901082>.
3. Levchenko E.A., Pokintelica N.I., Harchenko A.O. Teoriya i praktika abrazivnoj razrezki trub: monografiya – M.: Vuzovskij uchebnik: INFRA-M, 2018. – 142 s. ISBN:9785955805993.
4. E. Levchenko Theoretical Foundations of Vibration Processing Modeling / E. Levchenko, Yu. Deykun, Yu. Moroz Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2018) 2018. – S. 1519-1526. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95630-5_162.

УДК 621.97

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ БОЙКОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАДИАЛЬНОГО ОБЖАТИЯ

Ю. И. Гутько¹ докт. техн. наук, А. А. Низмеев² ассистент

¹ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Владимира Даля», кв. Молодежный 20-а, район Жовтневый, г. Луганск, Луганская Народная Республика, 91000, e-mail: dahl.univer@yandex.ru

²ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», пр. Ленина 16, г. Алчевск, Луганская Народная Республика, 94200, e-mail: alexander.1103@yandex.ua

Аннотация

В данной статье проведен обзор геометрических элементов радиально-обжимных бойков, выполнен анализ влияния геометрических параметров обжимных бойков на основные технологические показатели процесса радиального обжатия. Сформулированы основные направления совершенствования конструкций радиально-обжимного инструмента. Отдельно отмечены современные тенденции модернизации бойков, направленные

на создание износостойких инструментов на основе исследования влияния их геометрических характеристик. Авторами разработана матрица влияния геометрических характеристик бойков на параметры процесса обжатия. Даны рекомендации по назначению геометрических элементов радиально-обжимного инструмента, которые позволят обеспечить протекание процесса радиального обжатия с максимальной эффективностью.

Сделан вывод, что технология изготовления и проектирование обжимного инструмента является одним из основных факторов, обеспечивающих эффективность применения радиального обжатия. При этом заходный конус обжимного бойка оказывает наибольшее влияние на энергосиловые параметры процесса радиального обжатия. От выбора оптимальных значений рассмотренных геометрических параметров бойков зависит точность обработки, качество поверхностного слоя обрабатываемой заготовки, производительность процесса и стойкость инструмента. Геометрическая конфигурация обжимного бойка также должна обеспечивать минимальное возрастание удельных усилий деформирования и уровня его критического износа в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: радиальное обжатие, заходный конус, пластическая деформация, калибрующий участок, степень деформации, радиус сопряжения, геометрический элемент, коэффициент трения, профиль ручья бойка, очаг деформации

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GEOMETRIC ELEMENTS OF STRIKERS ON THE TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF RADIAL SWAGING

Y. I. Gutko¹, A. A. Nizmeyev²

¹SEE HPE «Lugansk Vladimir Dahl National University», sq. Molodezhniy 20-a, dis. Zhovtnevy, Lugansk, Lugansk People Republic, 91000, e-mail: dahl.univer@yandex.ru

²SEE HPE «Donbass State Technical University», av. Lenina, Alchevsk, Lugansk People Republic, 94200, e-mail: alexander.1103@yandex.ua

Abstract

This article reviews the geometric elements of radial crimping strikers, analyzes the influence of the geometric parameters of crimping strikers on the main technological indicators of the radial compression process. The main directions for improving the design of radial crimping tools are formulated. Modern trends in the modernization of strikers aimed at creating wear-resistant tools based on the study of the influence of their geometric characteristics are separately noted. The authors developed a matrix of the influence of the geometric characteristics of the strikers on the parameters of the compression process. Recommendations are given for the purpose of geometric elements of the radial crimping tool, which will ensure the flow of the radial compression process with maximum efficiency.

It is concluded that the manufacturing technology and design of the crimping tool is one of the main factors that ensure the effectiveness of radial compression. In this case, the approach cone of the crimping striker has the greatest influence on the power parameters of the radial compression process. The accuracy of processing, the quality of the surface layer of the workpiece, the productivity of the process and the tool life depend on the choice of the optimal values of the considered geometric parameters of the strikers. The geometric configuration of the crimp striker must also ensure a minimum increase in the specific deformation forces and the level of its critical wear during operation.

Keywords: radial swaging, inlet cone, plastic deformation, calibration section, degree of deformation, interface radius, geometric element, coefficient of friction, profile of the striker stream, deformation center

1. Проблема и её связь с научными и практическими задачами

В современном производстве обработка металлов давлением нашла широкое применение благодаря возможности изготовления широкой номенклатуры выпускаемых изделий, а также высокой степени механизации и автоматизации процесса. Наиболее распространенными способами получения заготовок в промышленном производстве являются сортовой и трубный прокат, ковка на молотах и прессах, штамповка

в закрытых и открытых штампах и т.п. Однако современное производство характеризуется снижением серийности выпускаемой продукции, и перед заготовительным производством ставится задача поиска более рациональных способов получения заготовок. К перспективным способам обработки металлов давлением относятся радиальное и ротационное обжатие, применение которого позволяет уменьшить либо вовсе исключить последующий объем механической обработки [5].

Радиальное обжатие характеризуется высокой производительностью и точностью изготовления заготовок. Такой способ позволяет обрабатывать заготовки из малопластичных и жаропрочных сплавов осесимметричного сечения со сложной конфигурацией внутренней поверхности, детали с отверстиями малых диаметров на большой длине, выполнять некоторые сборочные операции, а именно: запрессовка пружин во втулки, посадки ниппелей и втулок с натягом, соединение тросов обжатой муфтой и т.д. [1-3].

Технология изготовления и проектирование обжимного инструмента является одним из основных факторов, обеспечивающих эффективность использования обжатия. Именно на данном этапе закладывается точность обработки и качество поверхности изделия, которую предполагается получить. [1].

2. Постановка задачи.

Целью данной работы является проведение анализа влияния геометрических элементов радиально-обжимных бойков на основные технологические показатели процесса радиального обжатия.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо рассмотреть:

1. Геометрические элементы обжимных бойков.
2. Основные направления усовершенствования конструкций радиально-обжимных бойков.
3. Выявить влияние геометрических параметров обжимных бойков на технологические показатели радиального обжатия.

3. Изложение материала и его результаты

В качестве инструмента для радиального и ротационного обжатия применяются бойки для формообразования наружных поверхностей и оправки – для внутренних [1-2,4].

Геометрические характеристики бойков определяются конфигурациями внешнего и внутреннего контура, профилем сечения ручья, соотношением длин заходной и калибрующей части и т.д.

Профиль ручья бойков для радиального и ротационного обжатия имеет следующие основные геометрические элементы, которые влияют на технологический процесс радиального обжатия, его интенсивность, неравномерность деформаций и общее деформирующее усилие [1,4,6]:

- угол заходного конуса бойка α ;
- угол охвата заготовки бойками θ ;

- длина заходного конуса l_k ;
- длина калибрующего участка ручья l_u (цилиндрический участок);
- радиусы сопряжения профиля ручья с плоскостью разреза бойков r_u и r_k ;
- радиус сопряжения конического и цилиндрического участков ручья r_n .

Основные геометрические элементы обжимного бойка представлены на рис. 1.

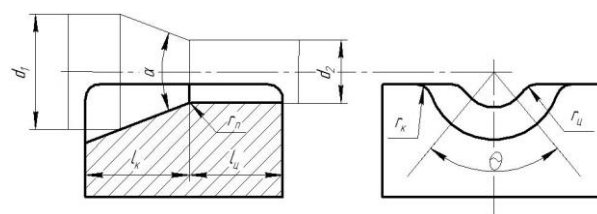


Рис. 1. Основные параметры геометрии бойков для обжатия

Среди всех перечисленных геометрических параметров инструмента наибольшее влияние на энергосиловые параметры обжатия оказывает заходный конус [5]. При обжатии цилиндрических участков заходный конус выступает в роли средства для уменьшения поперечного сечения исходной заготовки. Наиболее оптимальным будет такой выбор угла заходного конуса α , при котором неравномерность деформации заготовки не приведет к ее разрушению. Поэтому при определении его величины для холодного деформирования необходимо исходить из влияния интенсивности упрочнения. В бойках для деформирования в горячем виде при небольших степенях деформации заходный конус отсутствует, и процесс обжатия происходит непосредственно в цилиндрическом ручье. Увеличение угла заходного конуса объясняется большей пластичностью обрабатываемого материала в нагретом состоянии. В случае деформирования заготовок конусной формы заходный конус имеет, как правило, такой же профиль, как у обрабатываемой детали [1]. Ряд авторов в своих работах [1,2,6] отмечают, что заходный конус принимается в зависимости от твердости материала, типа обработки (в горячем или холодном виде), коэффициента трения между поверхностью инструмента и заготовки и степени деформации.

Рекомендуемые значения углов заходного конуса в зависимости от степени деформации представлены на рис. 2.

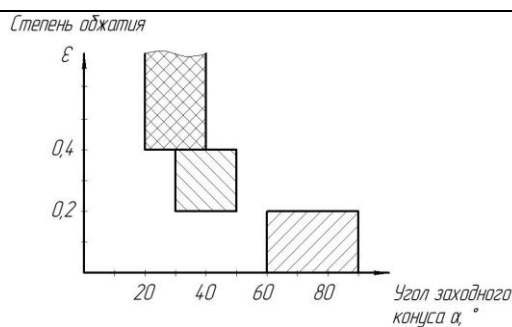


Рис. 2. Рекомендуемые значения углов заходного конуса α

В результате анализа экспериментальных и производственных данных, можно прийти к выводу, что наиболее важным критерием выбора угла заходного конуса α является степень деформации ε на переходе.

Радюченко Ю.С. утверждает, что с повышением твердости и прочности обрабатываемого материала более предпочтительно применение бойков с меньшими углами заходного конуса. Снижение угла до $12...15^\circ$ позволяет уменьшить глубину утяжин на торцах поковок при деформировании в горячем виде [1].

В конструкции бойков иногда предусматривается второй заходный конус (рис. 3). Как утверждает Семенов Е.И., это позволяет улучшить энергосиловые показатели обжатия и тем самым продлить срок службы бойка [4].

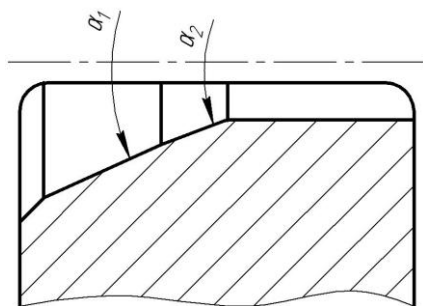


Рис. 3. Конструкция бойка с двойным заходным конусом

Угол охвата заготовки бойками θ существенно влияет на формирование очага деформации заготовки. В работе Дмитриевой А.Я. [7] были проведены сравнительные испытания бойков с углами охвата 115° , 135° и 155° по критерию влияния величины угла на механические свойства заготовки за счет анализа накопленных деформаций и средних напряжений. В результате проведенного эксперимента автором установлено, что применение бойков с углом охвата 155° является наиболее рациональным, т.к. заготовки можно подвергать более высоким

степеням деформации, при этом достигается высокая чистота поверхности обрабатываемого материала, повышенные показатели прочности и пластичности заготовок после обработки. Следовательно, заготовки имеют больший запас пластичности и улучшенные прочностные свойства без образования дефектов.

Отдельно стоит отметить, что обработка малопластичных и хрупких материалов требует всестороннего равномерного сжатия. Для соблюдения этого условия Радюченко Ю.С. рекомендует принимать угол охвата не менее 150° [1]. Однако при горячем обжатии угол охвата принимается в диапазоне $\theta = 90...120^\circ$. На основе результатов эксперимента Зверева Н.Ф. [9] можно сделать вывод, при малых углах охвата θ наряду с появлением растягивающих напряжений в центре сечения заготовки могут возникать завихрения волокон металла в плоскости поперечного сечения и усиленное продольное скручивание обрабатываемой заготовки. Такого же мнения придерживается и Радюченко Ю.С., который утверждает, что для деформирования прутков диаметром менее 8 мм угол охвата θ рекомендуется принимать более 100° [1,2]. Им определена зависимость " $\theta - \alpha$ " между величиной угла охвата заготовки и углом заходного конуса (рис. 4).

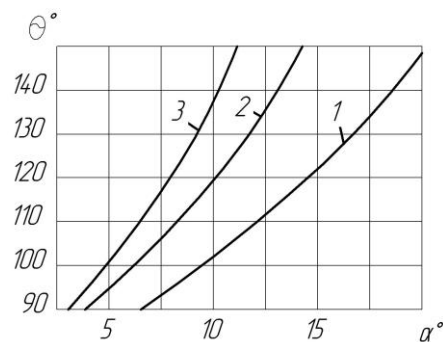


Рис. 4. График для определения угла охвата θ заготовки бойками [1]: 1 – мягкие стали; 2 – стали средней твердости; 3 – твердые стали

Исходя из значения угла α , можно определить угол θ для конкретного перехода. При определении данной зависимости было принято допущение, что наибольшему углу α , рекомендуемому для определенного типа обрабатываемого материала, должен соответствовать максимальный угол θ . Однако представленная Радюченко Ю.С. зависимость не в полной мере учитывает остальные геометрические параметры бойка.

Длина заходного конуса l_k зависит от угла α и степени обжатия ε . Минимальное его значение определяется из условия [2]:

$$l_k = \frac{d_2 - d_1}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}},$$

где d_2 – диаметр исходной заготовки, мм;
 d_1 – диаметр заготовки после обработки, мм.

Однако длина заходного конуса может быть увеличена для свободного захода заготовки в бойки. В работе Радюченко Ю.С. [1] указывается, что конусную часть l_k рекомендуется принимать не более 60% от всей длины бойка. Подобного мнения придерживается и Любвин В.И., отмечающий, что в зависимости от общей длины бойков максимальная длина заходного конуса не должна превышать его средний диаметр более чем в 7-10 раз [8].

Важно отметить, что Радюченко Ю.С. и Зверев Н.Ф. не дали однозначного решения по определению рационального угла заходного конуса и его длины.

По результатам исследования [6] установлено, что длина калибрующего участка l_u (цилиндрической части ручья) влияет на шероховатость получаемой поверхности заготовки, предельную степень деформации, величину усилия, а также стойкость инструмента. Малые значения величины калибрующего участка приводят к низкой точности и качеству поверхности обрабатываемого материала. Напротив, длинные участки способствуют раннему разрушению инструмента. Длина калибрующего участка на практике колеблется в пределах [2]:

$$l_u = (0,7 \dots 2) l_k.$$

Эксперименты, выполненные Радюченко Ю.С. показывают, что получение требуемой размерной точности и шероховатости достигается применением бойков с длиной цилиндрического участка l_u , который составляет $0,8d_2$ при степенях деформаций $\varepsilon \leq 0,25$ и $1,2d_2$ при $\varepsilon > 0,25$. Однако при меньших соотношениях l_u/d_2 не обеспечивается точность обрабатываемой поверхности. Напротив, избыточные длины калибрующих участков приводят к увеличению дополнительных калибровочных усилий [1].

На границе перехода заходного конуса в цилиндрическую часть происходит максимальная деформация материала с сопутствующим возникновением максимального давления и силы трения. Это может вызвать налипание металла в этом месте бойков, что приводит к затрудненной подаче изделий, ухудшению качества обработки поверхности и снижению стойкости инструмента. По рекомендациям Любви-

на В.И. радиус сопряжения конической с цилиндрической частью r_n рекомендуется принимать в зависимости от обрабатываемого материала и его твердости [8]. В целях предотвращения налипания металла рабочие полости бойков, в частности место перехода конического участка в цилиндрический, необходимо полировать до шероховатости Ra 0,8 мкм.

Профиль сечения бойков определяется отношением радиуса ручья r_n к половине диаметра исходной заготовки d_1 . Овальному профилю ручья, при котором исключается защемление в месте разьема бойков, отвечает соотношение:

$$\frac{2r_n}{d_1} > 1$$

Соблюдение этого условия повышает долговечность инструмента и обеспечивает чистоту поверхности после деформирования. При переходе от латуни и мягких сталей к деформированию заготовок из легированных сталей данное соотношение должно возрастать [8].

По рекомендациям работ Тюрина В.А. радиусы сопряжений профиля ручья с плоскостью разьема бойков принимаются равными $r_u = 0,25d_1$ и $r_k = 0,15d_1$ [5]. Автором указано, что при деформировании труб радиусы сопряжений должны превышать толщину стенки трубы.

В результате проведенного анализа влияния геометрических элементов обжимных бойков на основные показатели технологического процесса обжатия разработана матрица, представленная в таблице 1.

Таблица 1. Матрица влияния геометрических характеристик бойков на параметры процесса обжатия

Параметры процесса	Геометрические элементы бойка					
	α	θ	l_k	l_u	r_u, r_k	r_n
1. Качество						
1.1. Точность диаметральных размеров	—	—	—	+	+	—
1.2. Шероховатость	—	+	—	+	*	+
1.3. Наличие дефектов	+	+	+	+	+	+
2. Производительность						
2.1. Скорость деформирования V_n	+	*	+	*	+	*
2.2. Шаг подачи S_n	+	*	+	*	+	—
2.3. Степень обжатия ε	+	+	+	+	*	*
3. Механические свойства обрабатываемой заготовки						
3.1. Прочность	*	+	*	—	+	—
3.2. Пластичность	*	+	*	—	+	—
4. Стойкость инструмента	+	*	*	+	+	+

Примечание: "+" – фактор оказывает влияние на параметр процесса;

"–" – фактор не оказывает влияние на параметр процесса;

"*" – характер влияния не изучен

4. Выводы

Таким образом, на процесс радиального обжатия влияют два параметра – характеристика применяемого оборудования, а также материал и геометрия инструмента. При этом максимальное влияние на энергосиловые параметры радиального обжатия оказывает заходный конус обжимного бойка.

Анализ параметров технологического процесса обжатия показывает, что геометрические характеристики бойков оказывают значительное влияние на технологический процесс радиального обжатия. Следовательно, выбор оптимальных значений рассмотренных геометрических параметров бойков должен обеспечить, с

одной стороны, соответствующее качество и производительность обработки, с другой – минимальное возрастание удельных усилий деформирования и уровня критического износа в процессе эксплуатации.

Однако необходимо отметить, что в настоящее время недостаточно изучено влияние профиля обжимного инструмента на стойкость бойка. Также отсутствует решение вопроса по снижению износа рабочей и калибрующей части бойков.

Важным направлением развития технологии радиального обжатия является создание более износостойких инструментов на основе исследования влияния геометрических характеристик бойков на параметры процесса обжатия (табл. 1). Такие направления предполагают существенную модернизацию существующих конструкций обжимных бойков и освоение перспективных методов изготовления бойков с твердосплавными пластинами.

Список литературы

1. Радюченко Ю. С. Ротационное обжатие / Ю. С. Радюченко. – М.: Машиностроение, 1972. – 176 с., ил.
2. Радюченко Ю.С. Ротационная ковка / Ю.С. Радюченко. – М.: Машгиз, 1962. – 188 с., ил.
3. Ковка и штамповка на специализированном оборудовании / Б.П. Рудаков, А.Н. Силичев, Е.В. Степанов и др. Под общ. Ред. П.В. Камнева и А.П. Атрошенко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 96 с., ил.
4. Ковка и штамповка: справочник. В 4 т. Т. 2. Горячая объемная штамповка. – 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Е.И. Семенова. – М.: Машиностроение, 2010. – 720 с., ил.
5. Ковка на радиально-обжимных машинах / В.А. Тюрин, В.А. Лазоркин, И.А. Пospelov и др.; Под общ. ред. В.А. Тюрина. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с., ил.
6. Погорильчук А.Я. Определение оптимальных параметров технологического процесса радиальной ковки // Наука и образование. – 2009. – № 9. – С. 47-56.
7. Дмитриева А.Я. Определение влияния угла охвата заготовки при радиальной ковке на механические свойства изделия при помощи программного комплекса DEFORM3D // Инженерные системы – 2010. Труды Международной научно-практической конференции: – М. 2010. – С. 105-110.
8. Любвин В.И. Обработка деталей редуцированием / В.И. Любвин. – М.: Машгиз, 1979. – 148 с., ил.
9. Зверев Н.Ф. Вопросы технологии ротационной ковки: труды ЛПИ им. М. И. Калинина / Н.Ф. Зверев. – М.: Машиностроение, 1985. – № 260. – 250 с., ил.

References

1. Rudychenko Y.S. Rotary swaging / Y. S. Radchenko. – Moscow: Mashinostroenie, 1972. – 176 p.
2. Rudychenko Y.S. Rotary swaging / Y. S. Rudychenko. – Moscow: Mashgiz, 1962. – 188 p.
3. Forging and stamping on specialized equipment / B. P. Rudakov, A. N. Silichev, E. V. Stepanov, etc. Under the general ed. of P. V. Kamnev and A. P. Atroshenko. – 3rd ed., rev. and ad. – L.: engineering, leningr. squad, 1982. – 96 p.
4. Forging and stamping: a reference book. In 4 vol. Vol. 1. Materials and heating. Equipment. Forging. – 2nd ed., rev. and ad. / under total ed. N. Semenov. – Moscow: Mashinostroenie, 2010. – 717 p.
5. Forging on radial crimping machines / V. A. Tyurin, V. A. Lazorkin, I. A. Pospelov, etc.; Under the general ed. of V. A. Tyurin. - Moscow: Mashinostroenie, 1990. - 256 p.
6. Pogorelchuk A. J. Determination of the optimal process parameters in radial forging of // Science and education. - 2009. – No. 9. – Pp. 47-56.
7. Dmitrieva A. Y. Determination of the influence of the angle of girth of the workpiece during radial forging on the mechanical properties of the product using the software package DEFORM3D // *Engineering systems-2010. Proceedings of the International scientific and practical conference*: – Moscow. 2010. – Pp. 105-110.
8. Lyubvin V. I. processing of parts by reduction / V. I. Lyubvin. – Moscow: Mashgiz, 1979. – 148 p.
9. Zverev N. F. Questions of rotary forging technology: proceedings of the LPI M. I. Kalinina / N. F. Zverev. – Moscow: Mashinostroenie, 1985. – No. 260. – 250 p.

ОБОСНОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ СБОРКИ РАДИАЛЬНЫХ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С НАРУЖНЫМИ КАНАВКАМИ

А.А. Тараховский¹ магистрант, А.Ю. Тараховский² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: atarahovsky@rambler.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: aytarakhovskiy@sevsu.ru

Аннотация

В статье приведены результаты анализа и теоретических исследований процесса сборки радиальных уплотнительных соединений с наружными канавками и резиновым уплотнительным кольцом. Особенностью технологического процесса сборки радиальных уплотнительных соединений является наличие в соединении собственно уплотнительного кольца. Уплотнительные резиновые кольца обладают рядом специфических свойств, из которых главным является их эластичность. Это в значительной мере снижает жесткость в любом из направлений усилий прикладываемых к кольцу при сборке. Деформация уплотнительного резинового кольца при подаче к канавке с последующей установкой характеризуется геометрической нелинейностью. Резиновому кольцу для установки в канавку требуется обеспечить значительное изменение габаритных размеров и формы, при перемещении к канавке предотвратить его скручивание, а для установки в канавку - восстановить его форму. Такие условия резко усложняют научный подход к проектированию сборочного процесса и его автоматизацию. Таким образом, особую сложность и необходимость первоочередного решения для автоматизации их сборки представляют радиальные уплотнительные соединения. Геометрическая характеристика базовой детали определяет цилиндрическую ограничивающую поверхность. С цилиндрической ограничивающей поверхностью необходимо отождествлять форму деформированного кольца перед его установкой в канавку. При сборке радиальных уплотнительных соединений, содержащих базовые детали с наружными канавками, необходимо обеспечить деформацию кольца, при которой его форма описывается вокруг цилиндрической ограничивающей поверхности. Если кольцо описано вокруг цилиндрической ограничивающей поверхности с заданными параметрами, то основным видом его деформации является растяжение. Растяжение кольца при увеличении его габаритных размеров сосредоточенными нагрузками снижает надежность процесса сборки. Поэтому для предотвращения остаточных деформаций или разрушения кольца необходимо ограничивать величину деформации при сборке.

Ключевые слова: уплотнительные соединения, радиальные уплотнительные соединения, эластичный кольцевой элемент, классификация, исполнительный механизм, цилиндрическая ограничивающая поверхность, деформация, базовая деталь, качество, сборка.

JUSTIFICATION FOR AUTOMATING THE ASSEMBLY OF RADIAL SEALING JOINTS WITH EXTERNAL GROOVES

A.A. Tarakhovskiy¹ undergraduate, A.Yu. Tarakhovskiy² cand. sc. tech.

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: atarahovsky@rambler.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: aytarakhovskiy@sevsu.ru

Abstract

The article presents the results of analysis and theoretical studies of the process of assembling radial sealing joints with external grooves and a rubber o-ring. A special feature of the technological process of assembling radial sealing joints is the presence of a self-sealing ring in the joint. Rubber o-rings have a number of specific properties, of which the main one is their elasticity. This significantly reduces the stiffness in any of the directions of forces applied to the ring during Assembly. The deformation of the sealing rubber ring when fed to the machine with subsequent installation is characterized by geometric non-linearity. The rubber ring for installation in the groove needs to provide a significant change in overall dimensions and shape, when moving to the groove to prevent it from twisting, and for installation in the groove - to restore its shape. Such conditions dramatically complicate the scientific approach to the design of the Assembly process and its automation. Thus, radial sealing joints are particularly difficult and require a priority solution for automating their Assembly. The geometric characteristic of the base part determines the cylindrical bound-

ing surface. With a cylindrical bounding surface, the shape of the deformed ring must be corrected before it is inserted into the groove. When assembling radial sealing joints containing basic parts with external grooves, it is necessary to ensure that the ring is deformed, in which its shape is described around a cylindrical bounding surface. If the ring is described around a cylindrical bounding surface with the specified parameters, then the main type of deformation is stretching. Stretching the ring when its overall dimensions are increased by concentrated loads reduces the reliability of the Assembly process. Therefore, to prevent residual deformations or ring failure, it is necessary to limit the amount of deformation during assembly.

Keywords: sealing joints, radial sealing joints, elastic ring element, classification, actuator, cylindrical bounding surface, deformation, base part, quality, Assembly.

1. Введение

Постоянно возрастающие требования к количеству и качеству пневмо- и гидроаппаратуры делает особенно важным совершенствование технологии, создание новых способов механизации и автоматизации процесса сборки УС. Как показал анализ состояния сборочных работ, устройства с уплотнением в виде резинового кольца в общей массе собираются вручную [12]. Большой объём ручных работ - причина не только высокой стоимости изделий, но и низкого их качества.

2. Обоснование автоматизации сборки уплотнительных соединений

Особенностью сборки уплотнительных соединений (УС) является наличие в соединении собственно уплотнительного кольца. Уплотнительные кольца, как уже указывалось ранее, обладают рядом специфических свойств, из которых главным является их эластичность. Это в значительной мере снижает жесткость в любом из направлений усилий прикладываемых к кольцу при сборке.

Такого рода условия, возникающие при выполнении сборочной операции требуют особого исследования и изучения, как наиболее важного технологического фактора [7]. Поэтому для деталей, типа резиновое кольцо, основным фактором, по которому можно регулировать технологическое воздействие, а также проводить классификацию и исследование способов и средств сборки являются качественные и количественные характеристики деформаций колец при сборке.

Деформация эластичного кольца при подаче к канавке с последующей установкой характеризуется геометрической нелинейностью.

Вид упругой линии как угодно сильно может отличаться от вида начальной кривой.

Оценим относительную величину ε изменения диаметра D_{cp} оси кольца при установке в канавки радиальных УС. Относительную ве-

личину ε при установке в канавки вала будем вычислять по следующей зависимости:

$$\varepsilon_g = \frac{d - d_1}{d_1 + d_2}$$

где d - диаметр уплотняемой поверхности вала;

d_1 - внутренний диаметр кольца;

d_2 - диаметр сечения кольца.

Конструкция радиальных УС определяет другую особенность их сборки. Так для сборки радиального уплотнительного устройства резиновое кольцо перед установкой в канавку базовой детали должно быть предварительно деформировано. Тогда сопряжение деталей, рассматриваемое обычно, как единое сборочное действие, расчленяется на три элемента:

- деформирование эластичного кольца;
- подачу деформированного кольца к канавке;
- восстановление деформированной формы кольца в канавке (собственно сопряжение кольца с канавкой базовой детали).

Низкий уровень автоматизации процесса объясняется в первую очередь необходимостью выполнения дополнительных элементов сборочной операции.

Возникшие в данном случае дополнительные элементы сборочного действия определяют необходимость решения соответствующих технологических задач. С учетом указанных особенностей операцию сборки УС можно определить следующими элементами [6, 11, 12]:

- подача деталей к месту сборки;
- базирование и фиксация деталей на сборочной позиции;
- ориентирование деталей друг относительно друга;
- деформирование эластичного кольца;
- подача деформированного кольца к канавке;
- установка кольца в канавку за счет восстановления деформированной формы кольца;

- выгрузка УС в тару или транспортирование на следующую технологическую позицию.

Рассмотренная последовательность элементов может быть несколько изменена. Например, деформация эластичного кольца может быть произведена перед ориентированием деталей относительно друг друга, одновременно при подаче кольца к канавке и т.п. В сравнении с наиболее общей структурой сборочной операции [6], в процессе сборки УС появляется новый дополнительный элемент - предварительная деформация эластичного резинового кольца. Подачу же деформированного кольца к канавке можно рассматривать, как осуществление сопряжения обычных жестких деталей, а восстановление формы деформированного кольца в канавке - как осуществление закрепления деталей в соединении.

Обычно в цикле автоматической сборки элемент предварительной деформации не выполнялся. Исключением, как указывалось выше, является автоматическая сборка соединений с упругими деталями. Однако упругие детали, как правило, при выполнении всех элементов сборочной операции свою форму и габариты меняют незначительно [5, 9, 10].

Эластичному же резиновому кольцу для установки в канавку требуется обеспечить значительное изменение габаритных размеров и формы, при перемещении к канавке предотвратить его скручивание, а для установки в канавку - восстановить его форму. Такие условия резко усложняют научный подход к проектированию сборочного процесса и его автоматизацию.

Таким образом, особую сложность и необходимость первоочередного решения для автоматизации их сборки представляют радиальные УС. Технологические задачи сборки радиальных УС можно разбить на три группы:

Первой технологической задачей является создание необходимой сборочной деформации эластичному уплотнительному кольцу.

Второй технологической задачей является осуществление подачи деформированного кольца к канавке (с контактом или без контакта об уплотняемую поверхность базовой детали).

Третьей технологической задачей является осуществление сопряжения кольца с канавкой (за счет упругих свойств кольца или принудительно).

Только для радиальных УС требуется выполнение дополнительных элементов сборочной операции. Содержание операции определяется с одной стороны конструкцией УС (геометрическими характеристиками собираемых

деталей), а с другой - видом деформации эластичного кольца.

3. Анализ геометрических характеристик собираемых деталей. Типизация собираемых деталей

Важным фактором, определяющим процесс автоматической сборки - УС являются геометрические характеристики собираемых деталей - базовой и эластичного кольца, которые необходимо обосновать.

Геометрическая характеристика базовой детали определяет цилиндрическую ограничивающую поверхность (ЦОП). С ЦОП необходимо отождествлять форму деформированного кольца перед его установкой в канавку. ЦОП можно охарактеризовать двумя параметрами: диаметром сечения $D_{цоп}$ и величиной протяженности $L_{цоп}$.

При сборке УС, содержащих базовые детали с наружными канавками, необходимо обеспечить деформацию кольца, при которой его форма описывается вокруг ЦОП. Если на поверхности базовой детали имеется только одна канавка, то диаметр сечения $D_{цоп}$ равен диаметру d уплотняемой поверхности базовой детали, т.е. при $n = 1$, $D_{цоп} = d$.

Если $n \geq 2$ ($n \geq 2$ принимаем также при наличии резьбы, проточек и т.д.), то необходимо предусмотреть приспособления, предохраняющие кольцо от разрушения при монтаже, либо обеспечить подачу деформированного кольца без контакта с уплотняемой поверхностью базовой детали. В этом случае $D_{цоп} = d$ увеличивается на 0,5...2 мм [4].

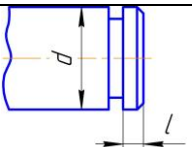
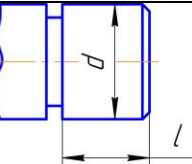
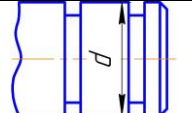
Расстояние l от торца базовой детали до канавки (наиболее удаленной, если $n \geq 2$) определяет протяженность ЦОП и влияет, как будет показано ниже, на выбор способа деформирования: $L_{цоп} = l$. Таким образом, в понятие геометрической характеристики базовой детали входит комплекс следующих элементов:

- вид канавки - наружная, охватываемая кольцом;
- диаметр d уплотняемой поверхности;
- число канавок n ;
- величина l , определяющая расстояние от торца до наиболее удаленной канавки.

Так как размеры ЦОП определяются геометрическими характеристиками базовых деталей, то последние необходимо типизировать.

Выделить типы базовых деталей следует также и для того, чтобы разграничить задачи сборки УС и полученные решения сделать более объективными. В таблице 2 представлены возможные типы базовых деталей: их три, а отличаются они друг от друга сочетанием элементов геометрической характеристики.

Таблица 2. Типизация базовых деталей уплотнительных соединений с резиновыми кольцами.

	Геометрическая характеристика	Схема
Тип 1	$n = 1, l \leq d_2$	
Тип 2	$n = 1, l > d_2$	
Тип 3	$n \geq 2,$	

К типу 1 относим детали с числом канавок $n = 1$ и расстоянием от торца до канавки $l \leq d_2$ (здесь d_2 - диаметр сечения кольца). При сборке с канавками базовых деталей типа 1 кольцо может быть описано вокруг ЦОП, деформируясь поверхностями базовой детали. Такая деформация кольца меньше критической деформации его разрушения.

К типу 2 относим детали с числом канавок $n = 1$ и с расстоянием от торца до канавки $l > d_2$. Непосредственно поверхностями базовых деталей типа 2 деформация кольца осуществлена быть не может. В этом случае требуется его деформировать принудительно специальным устройством и подать к канавке.

К типу 3 относим детали с числом канавок $n \geq 2$, а также при наличии на участке уплотняемой поверхности резьбы, шлицов, проточек и т.д. Процесс сборки колец с канавками базовых деталей типа 3 является наиболее сложным. В этом случае необходимо дополнительно закрывать те канавки, через которые проходит кольцо [2].

Геометрическая характеристика кольца определяется его габаритными размерами. Габаритными размерами кольца, согласно ГОСТ 9833-73, являются внутренний диаметр d_1 и диаметр сечения d_2 . ГОСТ накладывает не-

сколько ограничений на применение колец, исходя из которых последние можно разделить на три группы.

К первой группе относим кольца, применение которых ГОСТ не рекомендует. К ним, например, относятся кольца типоразмеров от 021-024-19 до 050-053-19 и т.д.

Если у кольца с диаметром сечения d_2 внутренний диаметр d_1 больше указанного в таблице 22 ГОСТа, то внутренние канавки на базовой детали не выполняют, а рекомендуется, как об этом сказано выше, применять открытие канавки. Сборку же узла проводят без предварительной деформации кольца известными методами. Кольца с такими размерами относим ко второй группе.

Остальные кольца относим к третьей группе, которую будем считать основной.

Виды деформации колец при их сборке с канавками базовых деталей перечисленных трех типов характеризуются большим разнообразием. Поэтому требуется рассмотреть и возможные виды деформации кольца при сборке.

4. Виды деформаций колец при сборке

Деформация кольца должна быть проведена перед или, по крайней мере, совместно с его подачей к канавке. В процессе сборки, действующие на кольцо нагрузки отличаются большим разнообразием и обычно представляют собой совокупность сил, различным образом ориентированных в пространстве [8].

Если кольцо описано вокруг ЦОП с заданными параметрами $D_{\text{ЦОП}}$ и $L_{\text{ЦОП}}$ основным видом его деформации является растяжение (рисунок 1). Кольцо испытывает наименьшее растяжение, если длина S средней линии деформированного кольца близка к длине окружности диаметра $D_{\text{ЦОП}}$. Для этого на кольцо должна воздействовать распределенная нагрузка, лежащая в его плоскости, а плоскость кольца параллельна диаметральной плоскости ЦОП (рисунок 1, а). Такое растяжение будем называть необходимым для описания кольца вокруг ЦОП. В этом случае не требуется проверять на прочность резиновое кольцо, так как материал, из которого оно изготовлено, подбирается соответствующей эластичности согласно ГОСТ и может испытывать такие сборочные растяжения без разрушения или остаточных деформаций.

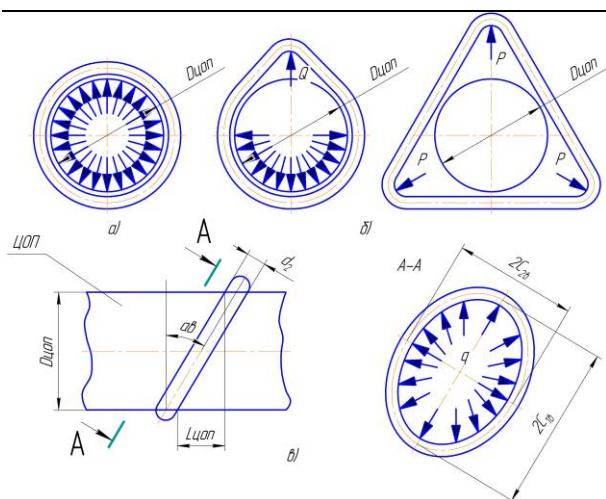


Рис. 1. Выды деформаций колец при установке в наружные канавки: а) при распределенной нагрузке в диаметральной плоскости ЦОП; б) при сосредоточенной нагрузке; в) при распределенной нагрузке в плоскости под углом к диаметральной.

При воздействии на кольцо сосредоточенных нагрузок возникает растяжение больше необходимого, так как в этом случае форма деформированного кольца представляет собой многоугольник с числом сторон, равным числу n нагрузок (рис. 1). При воздействии сосредоточенных нагрузок периметр всегда будет больше кольца, деформированного распределенной нагрузкой, как периметр многоугольника больше длины окружности, вокруг которой он описан, т.е. так как

$$\sum_{i=3}^n a_i > \lim_{i \rightarrow \infty} \sum a_i \quad i = \overline{3, n},$$

где a_i - длина участка кольца, заключенного между двумя сосредоточенными нагрузками;
 i - число нагрузок.

Растяжение кольца при увеличении его габаритных размеров сосредоточенными нагрузками снижает надежность процесса сборки. Поэтому для предотвращения остаточных деформаций или разрушения кольца необходимо ограничивать величину деформации при сборке. Если плоскость кольца расположена к диа-

метральной плоскости ЦОП под углом α_0 , форма деформированного кольца приобретает вид эллипса с большой $2C_{10}$ и малой $2C_{20}$ осями. Причём должно выполняться следующее условие:

$$\begin{cases} 2C_{10} = \sqrt{D_{\text{цоп}}^2 + L_{\text{цоп}}^2} + d_2 \\ 2C_{20} = D_{\text{цоп}} + d_2 \end{cases}.$$

Длину эллипса можно вычислить, воспользовавшись известной формулой для вычисления длины плоской кривой [3]:

$$S = \int_{-x_1}^{+x_1} \sqrt{1 + y'^2} dx,$$

где y - ордината множества точек эллипса, выражается следующим уравнением:

$$y = \frac{C_{20}}{C_{10}} \cdot \sqrt{C_{10}^2 - x^2}.$$

Так как

$$y' = \frac{C_{20}}{C_{10}} \cdot \frac{x}{\sqrt{1 - \frac{x^2}{C_{10}^2}}},$$

то длина эллипса может быть выражена через эллиптические интегралы $E(k, \varphi)$ второго рода, затабулированные, например, в [1]:

$$S = 4C_{10} E\left(k, \frac{\pi}{2}\right),$$

где $k = \sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{C_{20}^2}{C_{10}^2}}$ - параметр.

Из зависимости видно, что длина S эллипса при заданном $D_{\text{цоп}}$ зависит только от $L_{\text{цоп}}$. Поэтому предотвратить разрушение кольца можно лишь ограничивая $L_{\text{цоп}}$ так, чтобы

$$S \leq S_g^{\text{кр}},$$

где $S_g^{\text{кр}}$ - длина растянутого кольца, при которой наступает разрушение.

Список литературы

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. – М.: Наука, 1980. – 976 с.
2. Воронин А.В. Механизация и автоматизация сборки в машиностроении / А.В. Воронин, А.Г. Гричухин А.С. Калашников и др. – М.: машиностроение, 1985, – 272 с.12
3. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1977. – 871 с.
4. ГОСТ 9833-73 Кольца резиновые уплотнительные круглого сечения для гидравлических и пневматических устройств. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 59с.

5. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В.Фролов (пред.) и др. — Технологический сборник машиностроения. Т. III-5 / [А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреевичи]; под общ. ред. Ю.М.Соломенцева.— М.: Машиностроение, 2001. — 640 с.
6. Мишин В.М. Технологические основы автоматизации сборочных процессов в приборостроении. — М.: Машиностроение, 1979, — 128 с.
7. Научные основы автоматизации сборки машин / Под ред. М.П. Новикова. — М.: Машиностроение, 1976. — 472 с.
8. Новосёлов Ю.К. Обоснование требований к механизированному и автоматизированному процессу сборки уплотнительных соединений с внутренними канавками / Ю.К. Новосёлов, А.Ю. Тараховский // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. 2011. № 27. С. 11-16.
9. Пат. 2209132 Российская Федерация, МПК⁷ B23P 19/08. Способ установки стопорных колец и устройство для установки стопорных колец / Саушкин Г.Р.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "КАМАЗ". — № 2001129474/02; заявл. 31.10.2001; опубл. 27.07.2003, Бюл. № 20 (II ч.). — 6 с.
10. Патент на полезную модель 136377 Российская Федерация, МПК⁷ B23P 19/08. Стенд для установки стопорного кольца во внутреннюю канавку поршня шатунно-поршневой группы / Басавин Г.Э., Егунов С.В., Петров В.И.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью научно-производственная фирма "Спектрон". — № 2013138807/02; заявл. 20.08.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1. — 2 с.
11. Тараховский А.Ю. Классификация способов и устройств для автоматической сборки уплотнительных соединений в условиях гибкого автоматизированного производства / А.Ю. Тараховский, И.И. Бабилов, А.А. Тараховский // Механика XXI века. 2018. № 17. С. 188-192.
12. Тараховский А.Ю. Способы деформации уплотнительных колец круглого сечения при установке их во внутренние канавки цилиндрических поверхностей // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2010. № 11. С. 10-15.

References

1. Bronshtejn I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchihsya vuzov. — М.: Nauka, 1980. — 976 s.
2. Voronin A.V. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sborki v mashinostroenii / A.V. Voronin, A.G. Grichuhin A.S. Kalashnikov i dr. — М.: mashinostroenie, 1985, — 272 s.12
3. Vygodskij M.YA. Spravochnik po vysshej matematike. — М.: Nauka, 1977. — 871 s.
4. GOST 9833-73 Kol'ca rezinovyie uplotnitel'nye kruglogo secheniya dlya gidravlicheskih i pnevmaticheskikh ustroystv. Konstruktsiya i razmery. — М.: Izd-vo standartov, 1985. — 59s.
5. Mashinostroenie. Enciklopediya / Red. совет: К.В.Фролов (пред.) и др. — Tekhnologiyasborkivmashinostroenii. Т. III-5 / [А.А. Гусев, В.В. Павлов, А.Г. Андреевичи]; под общ. ред. Ю.М.Соломенцева.— М.: Mashinostroenie, 2001. — 640 s.
6. Mishin V.M. Tekhnologicheskie osnovy avtomatizatsii sborochnykh processov v priborostroenii. — М.: Mashinostroenie, 1979, — 128 с.
7. Nauchnye osnovy avtomatizatsii sborki mashin / Pod red. M.P. Novikova. — М.: Mashinostroenie, 1976. — 472 s.
8. Novosyolov Yu.K. Obosnovanie trebovanij k mekhanizirovannomu i avtomatizirovannomu processu sborki uplotnitel'nykh soedinenij s vnutrennimi kanavkami / Yu.K. Novosyolov, A.Yu. Tarakhovskiy // Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. 2011. № 27. S. 11-16.
9. Pat. 2209132 Rossijskaya Federaciya, MPK⁷ B23P 19/08. Sposob ustanovki stopornykh kolec i ustrojstvo dlya ustanovki stopornykh kolec / Saushkin G.R.; zayavitel' i patentoobladatel' Otkrytoe akcionernoje obshchestvo "KAMAZ". — № 2001129474/02; zayavl. 31.10.2001; opubl. 27.07.2003, Byul. № 20 (II ch.). — 6 s.
10. Patent na poleznuyu model' 136377 Rossijskaya Federaciya, MPK⁷ B23P 19/08. Stend dlya ustanovki stopornogo kol'ca vo vnutrennyuyu kanavku porshnya shatunno-porshnevoj gruppy / Basavin G.E., Egunov S.V., Petrov V.I.; zayavitel' i patentoobladatel' Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu nauchno-proizvodstvennaya firma "Spektron". — № 2013138807/02; zayavl. 20.08.2013; opubl. 10.01.2014, Byul. № 1. — 2 s.
11. Tarakhovskiy A.Yu. Klassifikatsiya sposobov i ustrojstv dlya avtomaticheskoy sborki uplotnitel'nykh soedinenij v usloviyah gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva / A.Yu. Tarakhovskiy, I.I. Babikov, A.A. Tarakhovskiy // Mekhanika XXI veku. 2018. № 17. S. 188-192.
12. Tarakhovskiy A.Yu. Sposoby deformatsii uplotnitel'nykh kolec kruglogo secheniya pri ustanovke ih vo vnutrennie kanavki cilindricheskikh poverhnostej // Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii. 2010. № 11. S. 10-15.

УДК 621.923

ФИНИШНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА

А. В. Неменко¹, М. М. Никитин²¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, 299053, Российская Федерация, valesan@list.ru²Севастопольский государственный университет, Севастополь, 299053, Российская Федерация, m.nikitin.1979@gmail.com

Аннотация

В настоящее время проблемой получения высокоточных поверхностей вращения второго порядка является неопределённость результата обработки. Основным способом финишной обработки таких поверхностей является полирование связанным абразивом в свободных осях, осуществляемое с помощью шлифовально-полировального станка. При этом съём материала носит во многом стохастический характер, что в условиях конечности допусков на толщину приводит к невозможности гарантированного получения заданной поверхности при повторении процесса. Предложена технология финишной обработки металлических изделий с поверхностями вращения второго порядка связанным абразивом в неподвижных осях. Получен профиль гибкого инструмента, с помощью которого процесс обработки при заданной поверхности будет самокорректирующимся. Проведено исследование возможной ошибки обработки в зависимости от ошибок задания параметров рабочего процесса и показан её регулярный характер. Предлагаемый способ позволяет получать заданную поверхность второго порядка из исходной поверхности второго порядка с меньшим эксцентриситетом с помощью одного и того же инструмента, варьируя параметры рабочего процесса, в частности, время обработки. При этом сферическая поверхность, эксцентриситет которой равен нулю, может являться заготовкой для любой другой поверхности вращения второго порядка.

Ключевые слова: финишная обработка, связанный абразив, поверхность второго порядка, обработка в неподвижных осях, шлифование, полирование, поверхность вращения, сфера, эллипсоид, параболоид, гиперболоид

FINISHING OF THE DETAIL WITH SECOND ORDER ROTATION SURFACE

Alexandra V. Nemenko¹, Michael M. Nikitin²¹Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russian federation, valesan@list.ru²Sevastopol State University, Sevastopol, 299053, Russian federation, m.nikitin.1979@gmail.com

Abstract

Currently, the uncertainty of the processing result is the problem of high-precision surfaces of rotation of the second order obtaining. The main method of such surfaces finishing is polishing with a fixed abrasive in the free axes using a grinding and polishing machine. At the same time, the removal of material is largely stochastic in nature, which, under conditions of finite tolerances on thickness, makes it impossible to guarantee a given surface when the process is repeated. The technology of finishing of metal details with second-order rotation surfaces by fixed abrasive in fixed axes is proposed. A profile of a flexible tool is obtained, with the help of which the processing process for a given surface will be self-correcting. A study was made of a possible processing error depending on the errors in setting the parameters of the working process and its regular nature is shown. The proposed method allows to obtain a given surface of the second order from the original surface of the second order with a lower eccentricity using the same tool, varying the parameters of the working process, in particular, the processing time. Moreover, a spherical surface, the eccentricity of which is equal to zero, can be a workpiece for any other second-order rotation surface.

Keywords: finishing, fixed abrasive, second-order surface, machining in fixed axes, grinding, polishing, surface of revolution, sphere, ellipsoid, paraboloid, hyperboloid

1. Введение

Финишная обработка высокоточных поверхностей вращения второго порядка содер-

жит неопределённость своего результата [1],[2]. Для гарантированного получения изделия требуется периодическая остановка процесса и контроль получаемой поверхности с формиро-

ванием при необходимости управляющего воздействия на режим обработки [1]. Исключение изделия из цикла обработки на период контроля существенно увеличивает время его изготовления. Поэтому до настоящего времени является актуальной разработка технологических процессов [3], позволяющих получить заданную поверхность автоматически по истечении заданного времени. Известно [1], что одним из таких процессов является получение вогнутой или выпуклой сферической поверхности при шлифовании деталей методом взаимного притира к антидетали с тем же радиусом кривизны. Для ряда неметаллических материалов (стекло, кварц, ситалл, полиэфирные смолы) процесс эффективно осуществляется свободным абразивом при использовании воды в качестве смазочно-охлаждающей жидкости [4]. Автоматическому переносу технологии на металлические изделия с применением безводной СОЖ препятствует их пластичность, вследствие которой зёрна свободного абразива шаржируются обрабатываемыми поверхностями, что снижает скорость обработки и препятствует её последующим стадиям, при которых для неметаллов применяется абразив меньшего размера [2]. Получение прецизионных поверхностей, отличающихся от точной сферы, требует даже для неметаллов специальной технологической оснастки, которая не может быть быстро переналажена на выпуск другой продукции.

Вместе с тем, развитие микроэлектроники делает принципиально возможным обработку разных классов поверхностей на одном и том же оборудовании без изменения кинематической схемы, меняя параметры обработки программным путём [3]. Это позволяет задать закон движения инструмента, обрабатывающего металлическую поверхность связанным абразивом.

Рассмотрим задачу нахождения параметров технологического процесса, приводящих к получению заданной поверхности применительно к стадии финишной обработки.

2. Профилирование инструмента для обработки в неподвижных осях

Считаем, что обрабатываемая заготовка неподвижна, инструмент закреплен на равномерно вращающемся шпинделе. Обработка ведётся связанным абразивом, закреплённым на инструменте, который имеет возможность прилегать к заготовке на всей области их мгновенного взаимного перекрытия. Разрушение связанных зерен не учитываем, физически этот эффект может быть скомпенсирован периоди-

ческим добавлением свежего абразива при условии большей вероятности внедрения зёрен в материал инструмента по сравнению с материалом заготовки. Материал заготовки считаем однородным и изотропным. Инструмент вращается с постоянной угловой скоростью соосно с обрабатываемой поверхностью, давление между инструментом и деталью и угловая скорость инструмента принимаются постоянными.

Уменьшение толщины заготовки Δh_{xy} в точке с заданными координатами $\{x, y\}$ с течением времени при неизменном характере обработки опишем следующим соотношением

$$\Delta h_{xy} = k \cdot |Mv_{xy}| \cdot Mp_{xy} \cdot t \quad (1)$$

где k – коэффициент съёма материала, определяемый эмпирическим путём для данного абразивного материала, давления и линейной скорости обработки, в системе СИ имеющий размерность $\text{м} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$; Mv_{xy} – математическое ожидание скорости инструмента в рассматриваемой точке, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; Mp_{xy} – математическое ожидание давления в рассматриваемой точке, Па, t – время, с.

В случае детерминированного закона движения, при котором все взаимные положения звеньев повторяются с периодом T , математические ожидания заменим средними значениями за цикл, в результате получим следующее соотношение

$$\Delta h_{xy} = \frac{k \cdot t}{T} \int_0^T |v_{xy}(t)| \cdot p_{xy}(t) dt \quad (2)$$

При возможности независимого задания мгновенной скорости инструмента и создаваемого им давления для фиксированной точки на обрабатываемой поверхности правая часть формулы (2) будет представлять собой функционал, допускающий неограниченное количество решений относительно этих функций при условии равенства левой части значению, следующему из уравнения поверхности с учётом технологических допусков.

Рассмотрим применение функционала (2) в случае, когда исходная заготовка представляет собой сферический сегмент, обработанный с заданной точностью, на выходе требуется получить центральный сегмент с образующей, выполненной по одной из кривых второго порядка с той же точностью. Тогда для получения заданной образующей получаемой поверхности вращения требуется определить профиль инструмента в виде вращающегося сектора, которым за заданное время будет снята заданная величина материала на заданном радиусе.

Примем следующие допущения.

- инструмент представляет собой диск со связанным абразивом, вращающийся с постоянной угловой скоростью и соприкасающийся с обрабатываемой поверхностью своим краем,

- характерный размер зоны контакта инструмента с деталью существенно меньше общей площади обрабатываемой поверхности и может быть представлен координатами центра x, y ;

- линейная скорость инструмента относительно поверхности детали на несколько порядков больше скорости изменения координат его центра;

- координаты центра инструмента представляют собой случайные величины с равномерной совместной плотностью распределения в пределах обрабатываемой поверхности.

Тогда при заданной величине левой части формул (1) и (2), скорости диска и времени обработки всей поверхности, эти соотношения будут выполняться автоматически, если давление, действующее на инструмент, будет удовлетворять соотношению

$$p_{xy} = \frac{h_{xy}}{k \cdot v \cdot t} \quad (3)$$

Для фактического осуществления обработки таким способом без промежуточного контроля поверхности требуется установить точность задания всех параметров, входящих в соотношение. Применив формулу оценки погрешности функции нескольких переменных, получим

$$\Delta h_{xy} = \Delta p_{xy} \cdot k \cdot v \cdot t + p_{xy} \cdot \Delta k \cdot v \cdot t + p_{xy} \cdot k \cdot \Delta v \cdot t + p_{xy} \cdot k \cdot v \cdot \Delta t, \quad (4)$$

или

$$\varepsilon h_{xy} = \varepsilon p_{xy} + \varepsilon k + \varepsilon v + \varepsilon t, \quad (5)$$

где Δ и ε , соответственно, абсолютная и относительная погрешность результатов и исходных данных. Так, съём материала в $10 \text{ мк} = 10^{-5} \text{ м}$ с наибольшей ошибкой $5 \cdot 10^{-8} \text{ м}$ требует суммарной ошибки задания параметров правой части (5) не более 0,5%, что представляется практически реализуемой величиной.

Определим форму обрабатываемой поверхности при заданной кинематике движения. При обработке гибким инструментом со связанным абразивом давление и угловая скорость инструмента принимаются постоянными. Тогда для заданной геометрии получаемой поверхности вращения требуется определить профиль инструмента в виде вращающегося сектора, которым за заданное время будет снята заданная величина материала на заданном радиусе.

Задавая закон съёма материала в виде

$$\Delta h_r = f(r), \quad (6)$$

учитывая соотношение (1), в котором величины будут детерминированными, а зависимость линейной скорости движения точки сектора по обрабатываемой поверхности определяется соотношением

$$v(r) = \omega \cdot r, \quad (7)$$

получим

$$\Delta h(r) = k \cdot p \cdot t \cdot \omega \cdot r \cdot \varphi(r), \quad (8)$$

где $\varphi(r)$ – центральный угол, перекрывающий две крайние точки сектора на радиусе r . Выразив из (8) эту величину через остальные, получим уравнение сектора в полярных координатах

$$\varphi(r) = \frac{\Delta h(r)}{k \cdot p \cdot t \cdot \omega \cdot r}. \quad (9)$$

Так, для получения из сферической вогнутой поверхности заданной вогнутой поверхности вращения второго порядка с эксцентриситетом e , необходимый съём материала в зависимости от радиуса составит

$$\Delta h(r) \approx \frac{r^4 \cdot e^2}{8R^3}, \quad (10)$$

где R – вершинный радиус кривизны, совпадающий для этих двух поверхностей. Применив это соотношение в (9), получим уравнение гибкого сектора, несущего связанный микроабразив, при центральном вращении которого в контакте с поверхностью сферы с угловой скоростью ω за время t , сфера будет преобразована в заданную поверхность:

$$\varphi(r) = \frac{r^3 \cdot e^2}{8 \cdot R^3 \cdot k \cdot p \cdot t \cdot \omega}, \quad (11)$$

или, взяв от (11) обратную функцию,

$$r(\varphi) = \sqrt[3]{\frac{8R^3 \cdot k \cdot p \cdot t \cdot \omega \cdot \varphi}{e^2}}. \quad (12)$$

Формула (12) позволяет задавать различные соотношения между входящими в неё параметрами, в результате, подбором величины произведения $k \cdot p \cdot t \cdot \omega$ оказывается возможным обеспечить полное перекрытие сектора на наибольшем радиусе инструмента. Это достигается при выполнении соотношения

$$k \cdot p \cdot t \cdot \omega = \frac{a^3 \cdot e^2}{16\pi \cdot R^3}, \quad (13)$$

где a – наибольший радиус инструмента, совпадающий с радиусом обрабатываемой детали.

При назначении параметров, входящих в левую часть (13), следует учитывать возможность усталостного разрушения заготовки, так как процессы механического удаления материала постоянно создают микроконцентраторы напряжений на обрабатываемой поверхности [5].

При выполнении (13) оказывается возможным разделить инструмент на несколько одно-

временно работающих секторов, в этом случае условие (11) переходит в следующий вид

$$\varphi(r) = 2\pi \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^3. \quad (14)$$

Примеры профилей, удовлетворяющих (14), для инструментов с 4 и 12 секторами приведены на рис. (1) и (2).

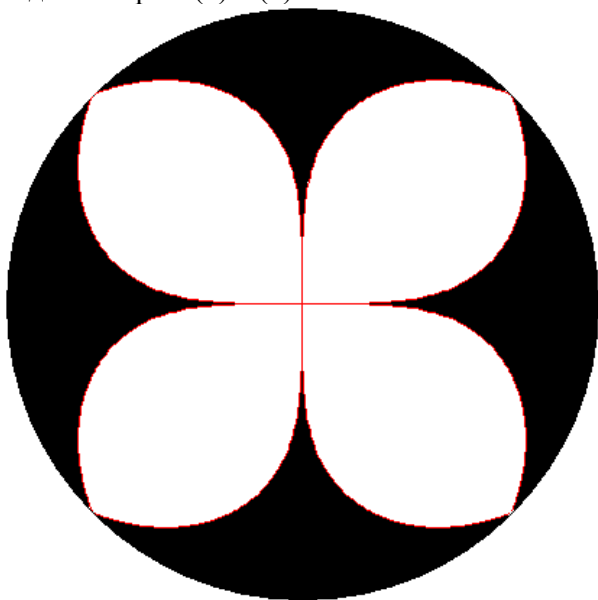


Рис. 1 – Профиль инструмента с 4 секторами для формообразования поверхности II порядка из сферической поверхности. Закрашены области, нанесения микроабразива.

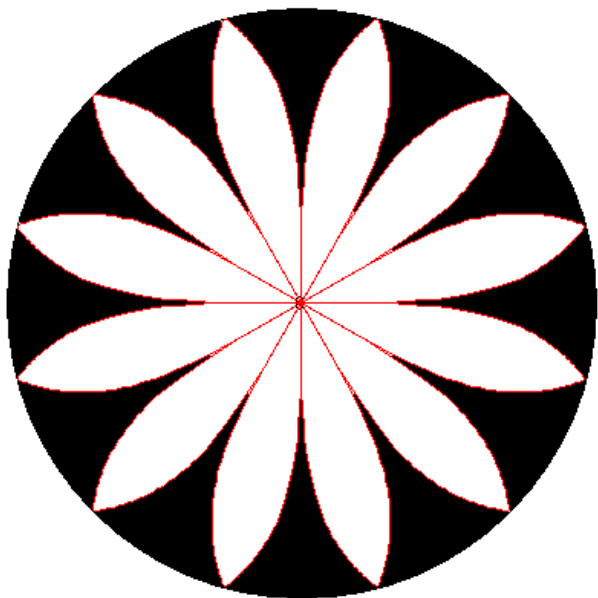


Рис. 2 – Профиль инструмента с 12 секторами для формообразования поверхности II порядка из сферической поверхности. Закрашены области, на которые наносится микроабразив.

Так, при коэффициенте съема материала $k = 1,11 \cdot 10^{-12} \text{ м} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{кг}^{-1}$, соответствующем съему 4 мк в час при давлении 1000 Па и линейной ско-

рости точки инструмента 1 м/с, давлении между инструментом и заготовкой 10^3 Па , радиусе заготовки $a = 0,15 \text{ м}$, вершинном радиусе кривизны готовой детали $R = 2,00 \text{ м}$, эксцентриситете $e = 1,00$ (парабола) и угловой скорости инструмента $2,09 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$, соответствующей частоте вращения привода 20 об/мин, расчетное время обработки t , необходимое для получения данной поверхности из сферы с тем же радиусом кривизны составит $3617 \text{ с} \approx 1 \text{ ч}$.

Рассмотрим образующие обрабатываемой детали, получаемые при работе инструментом с профилем (14) в течение времени, отличающегося от расчетного. Формула (10) представляет собой уравнение параболы IV степени относительно радиуса обрабатываемой детали r . Эта кривая характеризуется бесконечно большим радиусом кривизны в начале координат, поэтому при сложении её с изначально присутствовавшей образующей сферической поверхности с радиусом кривизны R , изменения кривизны при вершине не происходит. Следовательно, единственным параметром кривой, изменяющимся при обработке, является её эксцентриситет, определяющий класс кривой. Выразив его через остальные параметры, запишем

$$e = 4 \sqrt{\frac{\pi \cdot k \cdot p \cdot \omega \cdot t \cdot R^3}{a^3}}. \quad (15)$$

Для фактического осуществления обработки таким способом без промежуточного контроля поверхности требуется установить точность задания всех параметров, входящих в соотношение. Применив к (15) соотношения (4) – (5), получим

$$\Delta e = \frac{\partial e}{\partial k} \cdot \Delta k + \frac{\partial e}{\partial t} \cdot \Delta t + \frac{\partial e}{\partial p} \cdot \Delta p + \frac{\partial e}{\partial \omega} \cdot \Delta \omega. \quad (16)$$

Выполнив дифференцирование и перейдя от абсолютных к относительным погрешностям, запишем

$$\Delta e = \frac{e \cdot (\varepsilon_k + \varepsilon_t + \varepsilon_p + \varepsilon_\omega)}{2}, \quad (17)$$

где Δ и ε , соответственно, абсолютная и относительная погрешность результатов и исходных данных. Так, получение эксцентриситета результирующей поверхности 1,00 в рассмотренном примере с наибольшей ошибкой $0,01 = 1\%$ требует суммарной ошибки задания параметров правой части (5) не более 2% , что представляется практически реализуемой величиной.

3. Выводы

При финишной обработке деталей с центральными поверхностями вращения второго порядка с эксцентриситетами от 0 до ∞ воз-

можно применение универсальных многосекторных инструментов с профилем рабочей поверхности, описываемым формулой (14). Инструмент имеет диаметр детали и вращается относительно её оси симметрии, не совершая возвратно-поступательных движений, что отличается от технологии применяемой в большинстве шлифовально-полировальных станков [1 -3]. Перенастройка инструмента на другой

профиль получаемой поверхности, согласно формуле (13) может быть произведена изменением давления, времени обработки, либо угловой скорости. Профили секторов на рисунках 1 - 2 образованы показательными спиралями и могут быть легко воспроизведены на станке с ЧПУ либо с помощью 3D-принтера.

Список литературы

1. Максutow Д.Д. Изготовление и исследование астрономической оптики/Д.Д. Максutow. – М.:Наука, 1984 – 284 с.
2. Ingalls A. G. Amateur telescope making. Book One/ A. G. Ingalls (Ed). – New York: Scientific American, 1966 –510 p.
3. Каширин В.И. Основы формообразования оптических поверхностей: курс лекций / В.И. Каширин// Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2006.
4. Гетц Й. Шлифовка и полировка стекла/Й. Гетц. – Л.: Стройиздат, 1967 – 280 с.
5. Неменко А.В. Оценка вероятности разрушения детали с усталостной трещиной / А.В. Неменко, М.М. Никитин// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, №3(317), 2016, С. 34 – 39.

References

1. Maksutov D.D. Izgotovlenie i issledovanie astronomicheskoy optiki/D.D. Maksutov. – M.:Nauka, 1984 – 284 s.
2. Ingalls A. G. Amateur telescope making. Book One/ A. G. Ingalls (Ed). – New York: Scientific American, 1966 –510 p.
3. Kashirin V.I. Osnovy formoobrazovaniya opticheskikh poverhnostej: kurs lekcij / V.I. Kashirin// Ekaterinburg: GOU VPO UGTU – UPI, 2006.
4. Getc J. Shlifovka i polirovka stekla/J. Getc. – L.: Strojizdat, 1967 – 280 s.
5. Nemenko A.V. Ocenka veroyatnosti razrusheniya detali s ustalostnoj treshhinoj / A.V. Nemenko, M.M. Niki-tin// Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, №3(317), 2016, S. 34 – 39.

РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 629.33

АВТОМОБИЛЬ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ НА ШАССИ ЛЕГКИХ КОММЕРЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ СЕМЕЙСТВА ГАЗЕЛЬ NEXT

М. А. Семеренко¹, С. В. Огрызков²

¹ Студент четвертого курса, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: panteradimejic@gmail.com

² Старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: ogrizkov@sevsu.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрена возможность разработки автомобиля с гибридной силовой установкой на базе легких коммерческих автомобилей семейства ГАЗель NEXT, а также исследована концепция проектирования полноразмерного пикапа на шасси этого же автомобиля. В условиях постепенной, но довольно стремительной, электрификации транспорта отечественным производителям, также, необходимо поддерживать данную тенденцию для улучшения топливной эффективности автомобилей. В связи с этим, в рамках проекта «Профстажировки 2.0.», были предложены несколько возможных вариантов компоновок гибридной силовой схемы на автомобилях, использующих базу семейства ГАЗель NEXT. Варианты гибридного привода включили в себя версию для заднеприводной и полноприводной компоновок. Также, был спроектирован один из вариантов дизайна полноразмерного пикапа на шасси вышеуказанного автомобиля. При этом были соблюдены всевозможные размерные параметры рамы, ходовой части, трансмиссии и силовой установки автомобиля с наименьшими изменениями в их конструкции, для возможности максимальной унификации с шасси автомобиля-прототипа. По предварительным прогнозам, автомобиль должен составить конкуренцию в сегменте полноразмерных пикапов, в который входят такие автомобили как: Ford F-150/450; Chevrolet Silverado; GMC Sierra; Dodge Ram 1500; Toyota Tundra и др. Одновременно с этим, может быть спроектирован автомобиль типа SUV с применением измененного, в задней части, кузова версии пикапа.

Ключевые слова: Гибридный автомобиль; последовательная схема; параллельная схема; последовательно-параллельная схема; пикап; SUV; ГАЗель NEXT; топливная эффективность; экологичность ТС; экономичность ТС.

A CAR WITH A HYBRID POWERPLANT ON THE CHASSIS OF LIGHT COMMERCIAL VEHICLES OF THE GAZELLE NEXT FAMILY

М. А. Semerenko¹, S. V. Ogryzkov²

¹ fourth-year Student, FSAEI HE «Sevastopol state University»,
33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: panteradimejic@gmail.com

² Senior lecturer, FSAEI HE «Sevastopol state University»,
33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: ogrizkov@sevsu.ru

Abstract

This article discusses the possibility of developing a car with a hybrid propulsion system based on light commercial vehicles of the NEXT GAZelle family, and also explores the concept of designing a full-size pickup truck on the chassis of the same car. In the conditions of gradual, but rather rapid, electrification of transport for domestic manufacturers, it is also necessary to maintain this trend in order to improve the fuel efficiency of cars. In this regard, in the framework of the project "Professional training 2.0.", Several possible options for the layout of the hybrid power scheme on cars using the base of the NEXT GAZelle family were proposed. Hybrid drive options included a version for rear-wheel drive and four-wheel drive layouts. So, one of the design options for a full-size pickup truck on the chassis of the aforementioned car was designed. At the same time, all kinds of dimensional parameters of the frame, chassis, transmission and powerplant of the car were observed with the smallest changes in their design, in order to maximize

unification with the chassis of the prototype car. According to preliminary forecasts, the car should compete in the segment of full-size pick-up, which includes such cars as: Ford F-150/450; Chevrolet Silverado; GMC Sierra; Dodge Ram 1500; Toyota Tundra and others. At the same time, an SUV-type car can be designed using a modified pickup truck in the rear.

Keywords: Hybrid car; series HEV; parallel HEV; series-parallel HEV; pickup; SUV; GAZelle NEXT; fuel efficiency; environmental friendliness of the vehicle; profitability of the vehicle.

1. Введение

На сегодняшний день одним из ключевых факторов во время проектирования и разработки автомобилей является экологическая составляющая при дальнейшем его использовании. Она охватывает все аспекты, начиная с производства автомобиля, его эксплуатации и дальнейшей утилизации. Главным этапом в «жизни» автомобиля является его эксплуатация, которая, в большинстве случаев, связана с его передвижением или другими функциями, требующими задействования работы двигателя. На большинстве автомобилей устанавливаются двигатели внутреннего сгорания, использующие, в качестве топлива, бензин, дизельное топливо, газ и другие нефтяные или органические источники энергии. Все перечисленные типы двигателей, не смотря на постоянно ужесточающиеся нормы их экологичности при работе, так или иначе загрязняют окружающую среду. Загрязнения являются следствием выбросов токсичных веществ, находящихся в выхлопных газах при выводе их через выхлопную систему автомобиля в атмосферу, а также других веществ, использующихся в эксплуатационных жидкостях его агрегатов.

Эти факторы стали причиной значительно-го повышения интереса автомобильных производителей к использованию, в качестве силовых агрегатов, электрических двигателей, которые были распространенными в самом начале автомобильной эпохи, но оказались в забвении в 20 веке. Современные автопроизводители, за последние 20 лет, значительно продвинулись в технологичности электродвигателей, в качестве их использования, как основного привода для автомобилей. Электродвигатели имеют, значительно превосходящие двигатели внутреннего сгорания, мощностные характеристики, более просты в обслуживании и ремонте и самое главное – не являются источниками вредных выбросов в атмосферу. Но тем не менее, на данный момент в полноценном использовании электромобилей есть ряд сложностей, связанных, прежде всего, со слабым развитием инфраструктуры, обеспечивающей их работоспособность. Это касается недоступности в любой момент обеспечивать зарядку их аккумулятор-

ных батарей, которые, на данный момент обеспечивают, хоть и значительный, но недостаточный для удобной эксплуатации электромобиля запас хода (это особенно актуально в период зимней эксплуатации электромобиля). И пока эти проблемы не будут решены, электромобили будут оставаться менее распространенными, по сравнению с автомобилями, использующими «традиционные» двигатели.

Другое направление в создании автомобильных силовых агрегатов связано с использованием в качестве привода двигателя внутреннего сгорания, работающего в тандеме с электродвигателем. Автомобили, использующие такую схему привода, учитывая вышеупомянутые недостатки электромобилей, имеют перед ними ряд преимуществ и являются компромиссным вариантом между «чистым» электромобилем и автомобилем с ДВС, обеспечивая приемлемую топливную эффективность и экологичность [1, 2]. Суть такой конструкции привода заключается в обеспечении наилучших режимов работы для двигателя внутреннего сгорания. Чаще всего, в гибридных автомобилях электродвигатель работает в период смешанных нагрузок, а при установившихся нагрузках в работу вступает двигатель внутреннего сгорания, обеспечивая, с помощью генератора подзарядку аккумуляторных батарей. В тоже время, гибридный автомобиль может принудительно работать только на ДВС или электродвигателе, а в режимах с необходимой максимальной мощностью использовать оба силовых агрегата. Это и обуславливает удобство его эксплуатации. Однако гибридные автомобили имеют свои недостатки, основными из которых являются сложность и дороговизна конструкции, не оправдывающая КПД на выходе от использования такой схемы. Тем не менее, практически каждый автопроизводитель имеет в линейке выпускаемых автомобилей гибридные версии или отдельные модели, использующие гибридную силовую установку.

Существует несколько схем компоновки силовых приводов гибридных автомобилей, таких как: последовательная, параллельная и последовательно-параллельная [1].

При последовательной схеме привод на колеса автомобиля осуществляется только с

помощью электромотора, а ДВС работает для генерации электроэнергии, используемой первым. Основными достоинствами данной схемы являются: работа ДВС с минимальным расходом топлива и простота управления силовой установкой. Однако, такая схема имеет слишком малый КПД и предусматривает обязательное использование двух тяговых электромоторов. Принципиальная схема последовательного гибридного привода представлена на рис. 1 [1].

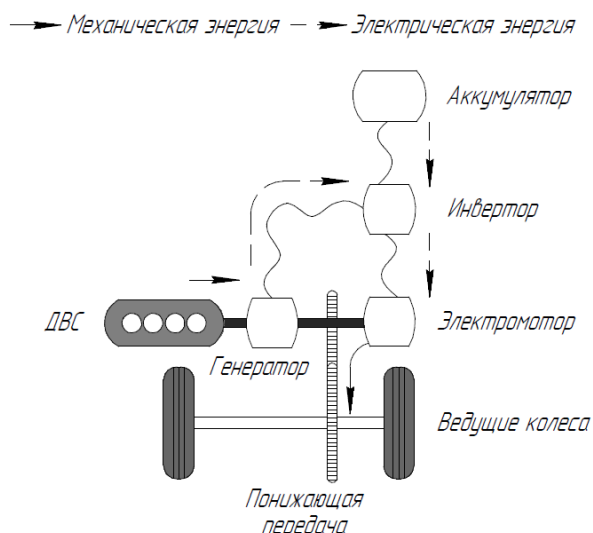


Рис. 1. Принципиальная схема последовательного гибридного привода

В параллельной схеме гибридного автомобиля ДВС и электромотор соединены с колесами автомобиля посредством общей трансмиссии. Питание для электродвигателя обеспечивает аккумуляторная батарея. Достоинством данной схемы является: более высокий КПД, чем в последовательной схеме, а также возможность автономной работы, как только на ДВС, так и на электродвигателе. Недостатками же являются: обязательное применение в приводе трансмиссии (иногда и ее усложнение) и невозможность постоянной работы ДВС в режиме минимального расхода топлива. Принципиальная схема параллельного гибридного привода представлена на рис. 2 [1].

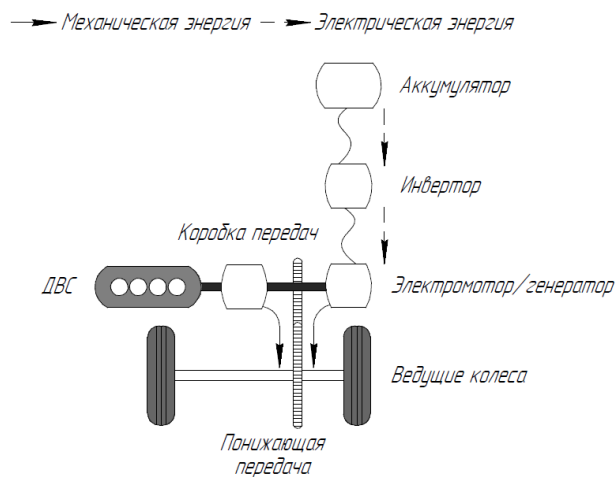


Рис. 2. Принципиальная схема параллельного гибридного привода

В случае последовательно-параллельной схемы гибридного привода (рис. 3) ДВС, генератор и выходной вал передачи, который связан с валами привода ведущих колес и на который передает энергию тяговый электродвигатель, связаны через планетарную передачу, при этом ДВС работает на постоянном режиме минимального расхода топлива, а регулирование скорости выходного вала передачи осуществляется изменением частоты вращения вала тягового электродвигателя за счет соответствующего управления, при этом необходимо синхронно управлять мощностью на валу генератора для обеспечения постоянного режима работы ДВС с минимальным расходом топлива и минимальной токсичностью [1].

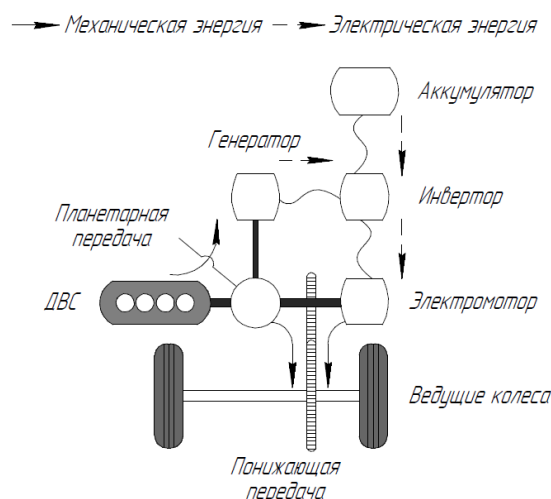


Рис. 3. Принципиальная схема последовательно-параллельного гибридного привода

К достоинствам последовательно параллельной схемы гибрида можно отнести высокий КПД при передаче энергии от ДВС к веду-

щим колесам и возможность его работы в постоянном режиме максимальной эффективности и экологичности. Недостатки – сложная трансмиссия с обязательным внедрением в ее конструкцию планетарной передачи и сложная система управления всем приводом. Принципиальная схема последовательно-параллельного гибридного привода представлена на рисунке 3.

2. Постановка задач и способы их решения

2.1. Концепция привода и его компоновочные решения в гибридном автомобиле-прототипе

В рамках проекта «Профстажировки 2.0» поставлена задача разработать концепцию отечественного гибридного автомобиля на базе семейства автомобилей ГАЗель NEXT.

За основу был взят автомобиль ГАЗель NEXT с индексом А22R32-70 [3]. Он представляет собой бортовую версию модели, имеет двурядную кабину. Колесная база составляет 3745 мм, грузоподъемность 1,5 т. Силовым агрегатом является дизельный двигатель Cummins ISF2.8s4129P.

Беря в расчет достоинства и недостатки всех типов схем привода гибридных автомобилей необходимо подобрать наиболее подходящую из них. Следует проанализировать каждую схему на целесообразность применения, исходя из требований использования коммерческого автотранспорта и соблюдения оптимальной экономической составляющей при внедрении автомобиля в производство.

Начать анализ можно с последовательной схемы гибридного привода. Ключевым фактором в применении данной схемы является обязательное применение двух электродвигателей большой мощности в приводе автомобиля, а также аккумуляторных батарей повышенной энергоемкости. Для внедрения такой конструкции необходимо переработать большинство основных узлов автомобиля. Главным недостатком применения такой схемы на проектируемом автомобиле станет возможность его работы только на одном типе привода – электрическом. Это обуславливает его ненадежность, в случае выхода из строя приводных электромоторов. Так же применение такой схемы требует значительного изменения компоновочных решений в автомобиле и разработки многих узлов с нуля.

Следующей схемой является параллельная схема гибридного привода. Данная схема хорошо зарекомендовала себя в применении на коммерческом транспорте. Практически все узлы возможно оставить без изменения и реализовать привод несколькими способами, в зависимости от предназначения автомобиля.

Самым простым способом будет внедрение электромотора следующим методом. Заводская компоновка остается без изменений вплоть до карданного вала автомобиля. В короткую часть карданного вала (после КПП, до подвесной опоры) внедряется муфта с зубчатой шестерней или звездой для цепного привода. В свою очередь на подрамнике, возле короткой части карданного вала, устанавливается тяговый электромотор с ведущей шестерней или звездой для цепного привода. В кабине автомобиля, в нише под сиденьями, будет установлена аккумуляторная батарея.

С помощью контроллера необходимо задать алгоритм работы данной схемы, который будет заключаться том, что на переходных режимах (городская эксплуатация на скорости до 60 км/ч) привод на колеса будет реализовываться с помощью электромотора, а ДВС, в свою очередь, будет работать на холостом ходу, в отсоединенном от трансмиссии состоянии, обеспечивая подзарядку аккумуляторной батареи. При установившихся режимах (эксплуатация по трассе с максимальной эффективностью и экологичностью) в работу будет вступать ДВС. Электромотор же будет работать в режиме генератора, подзаряжая аккумуляторную батарею. Также необходимо реализовать возможность рекуперативного торможения и режим максимальной мощности (совместная работа ДВС и электродвигателя), с возможностью принудительного включения.

Данная схема подойдет для заднеприводной компоновки автомобиля ГАЗель NEXT. Преимущества схемы – это относительная простота реализации и минимальные затраты на производство в сравнении с другими схемами.

Вторая вариация применения параллельной схемы может подойти для полноприводной модификации данного автомобиля. За основу привода на передние колеса можно взять передний ведущий мост автомобиля ГАЗель БИЗНЕС 4x4. К нему, через угловой редуктор подсоединить электромотор, корпус которого будет закреплен на данном мосту. Алгоритм работы можно реализовать так же, как в вышеприведенной схеме с заднеприводной компоновкой. Однако, существенным недостатком такой схемы является увеличение неподрессо-

ренной массы передней подвески, т.к. она увеличится на массу, равную подсоединенному электродвигателю. Решением является разработка независимой подвески с подрамником для крепления редуктора с электромотором и применением шарниров равных угловых скоростей, что удорожает ее конструкцию, однако является оптимальным решением для реализации такой схемы. Еще одним недостатком применения зависимого ведущего моста является неизбежное увеличение клиренса автомобиля, из-за близкого расположения картера переднего моста к поддону двигателя. Это, в свою очередь ведет к нежелательному увеличению погрузочной высоты автомобиля и увеличения высоты центра тяжести, что худшим образом скажется на управляемости.

Применение последовательно-параллельной схемы, которая хоть и имеет наибольший КПД использования мощности, нецелесообразно в данном автомобиле, т.к. требует кардинального изменения всех узлов автомобиля и разработки планетарной передачи для совмещения приводов. Кроме того, это сложно реализуемо в бортовом варианте автомобиля и повлечет собой нерациональное использование грузового отсека или потребует существенной переработки кабины.

2.2. Алгоритм работы системы управления гибридной силовой установкой

Система автоматического управления (САУ) гибридной силовой установкой должна обеспечить следующие основные режимы.

Режим начала движения. Движение с малыми нагрузками обеспечивается в первую очередь за счет электродвигателя. Если запас энергии в аккумуляторе недостаточный, то движение осуществляется с применением ДВС.

Режим равномерного движения. Движение обеспечивается в первую очередь ДВС, недостаток мощности обеспечивается за счет подключения электродвигателя. Если оптимальный крутящий момент больше момента сопротивления, то избыток мощности отводится на зарядку аккумуляторов.

Режим разгона. Разгонная динамика обеспечивается в основном за счет электродвигателя, при этом работа ДВС поддерживается в наиболее экономичном режиме или используется или он используется для компенсации нехватки мощности.

Режим торможения. Электродвигатель переводится в генераторный режим и излишек кинетической энергии транспортного средства

идет на зарядку аккумуляторов. При недостаточной эффективности рекуперативного торможения подключается система гидравлического торможения.

2.3. Внешняя скоростная характеристика силовой установки

Для предварительных расчетов внешние скоростные характеристики ДВС и электродвигателя будут определяться по эмпирическим формулам [4].

Мощность и крутящий момент ДВС определяются по формулам:

$$N = N_{\max} \frac{w}{w_N} + b \frac{w}{w_N} - \frac{3}{2} \frac{w^2}{w_N^2} \quad (1)$$

$$M_K = 1000 \frac{N}{w}, \quad (2)$$

где $N_{\max}$ – максимальная мощность двигателя, кВт;

w – значение частоты вращения коленчатого вала двигателя, с^{-1} ;

w_N – частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности, с^{-1} ;

N, M_K – последовательные значения соответственно мощности и крутящего момента и в зависимости от частоты вращения;

a, b – постоянные коэффициенты.

Крутящий момент электромотора вычисляется по формуле [4]

$$M_{KЭ} = M_0 \Psi^{-\frac{n}{U}}, \quad (3)$$

где $n = 30\omega/p$ – текущая частота вращения вала электромотора, об/мин;

M_0 – значение крутящего момента в начальный момент запуска при $n = 0$ об/мин;

U – коэффициент, характеризующий тип двигателя.

2.4. Проект пикапа на базе автомобилей семейства ГАЗель NEXT

Вторым этапом проекта является исследование возможности реализации иного типа кузова на базе автомобиля ГАЗель NEXT. Таким типом кузова является пикап.

На отечественном рынке присутствует автомобиль с данным типом кузова. Таковым яв-

ляется внедорожник UAZ Пикап 23632, принадлежит к сегменту среднеразмерных пикапов. На базе автомобиля ГАЗель NEXT можно реализовать проект полноразмерного пикапа, который будет конкурировать на рынке с автомобилями такого же класса, такими как: Chevrolet Silverado, GMC Sierra, Ford F-150, Dodge RAM 1500, Toyota Tundra и др. С учетом применения отечественных комплектующих и использования уже готовой платформы от автомобиля-прототипа автомобиль будет выгодно отличаться от ценовой политики конкурентов, что может привлечь новых покупателей со стороны российских автовладельцев.

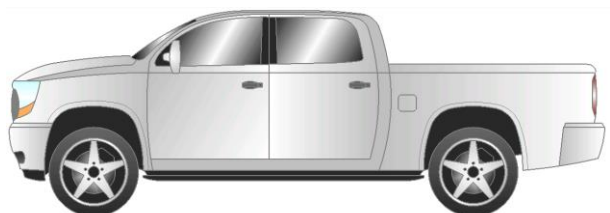


Рис. 4. Вид сбоку пикапа на базе автомобиля ГАЗель NEXT с колесной базой 3745 мм

Список литературы

1. Бахмутов С.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками : учебное пособие / С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов и др. – М. : МГТУ «МАМИ», 2007 – 71 с.
2. Pistoia G. Electric and hybrid vehicles. Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market / G. Pistoia. – Oxford : Elsevier, 2010. – 645 p.
3. Семейство ГАЗель NEXT [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://azgaz.ru/models/gazelle-next/>
4. Филькин Н.М. Гибридный автомобиль: основы проектирования, конструирования и расчета: учебное пособие / Н.М. Филькин, В.А. Умняшкин, Р.С. Музафаров. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2014. – 240 с.

References

1. Bahmutov S.V. Structural schemes of cars with hybrid power plants: an educational manual / S.V. Bahmutov, A.L. Karunin, A.V. Krutashov and other. – Moscow : MGTU «МАМИ», 2007 – 71 p.
2. Pistoia G. Electric and hybrid vehicles. Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market / G. Pistoia. – Oxford : Elsevier, 2010. – 645 p.
3. GAZelle family NEXT [Electronic resource] – access mode: <http://azgaz.ru/models/gazelle-next/>
4. Filkin N.M. Hybrid car: fundamentals of design, construction and calculation: educational manual / N.M. Filkin, V.A. Umnyashkin, R.S. Muzafarov. – Moscow : FORUM: INFRA-M, 2014. – 240 p.

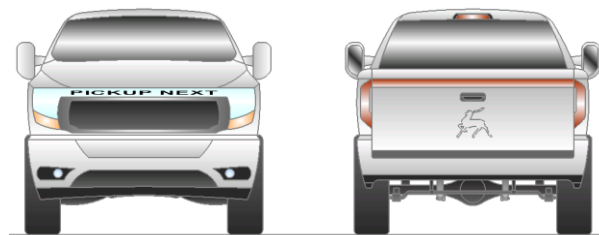


Рис. 5. Вид спереди и сзади пикапа на базе автомобиля ГАЗель NEXT с колесной базой 3745 мм

3. Заключение

В результате анализа выбрана параллельная схема гибридной силовой установки: ДВС и электродвигатель.

Мощность и крутящий момент силовой установки будет зависеть от режима движения автомобиля. Для предварительных расчетов можно использовать приблизительные эмпирические формулы.

Дальнейшие исследования будут направлены на расчет тягово-скоростных характеристик пикапа на базе автомобилей семейства ГАЗель NEXT, оснащенного гибридной силовой установкой.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТАЛЬНОГО ОБОРОТА ПРИ ТЕРМИНАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ КОНТЕЙНЕРОВ В ПОРТАХ РОССИИ

А. С. Домнина¹ ассистент, Я. Е. Горяшин² студент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: anna111000@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: goryashin2000@mail.ru

Аннотация

На современном этапе осуществления экономических реформ к большинству государственных стратегических объектов предъявляются высокие требования по эффективности их функционирования, соответствию передовым технологиям и готовности справиться с многократно возрастающим объемом задач. В число таких объектов входят и морские торговые порты России. Они играют важную роль в экономике страны, и поэтому созданию четкой системы их управления сегодня уделяется пристальное внимание. Актуальным является внедрение систем электронного документооборота в организациях, занимающихся хозяйственной деятельностью. Электронный документооборот в портах, позволяет упростить выполнение многих операций с документами для экспедиторов, стивидоров, таможен и агентов. Также он помогает оформлять в таможене прибытие груза в пункт пропуска удаленно, автоматически формировать поручения из заявки, приемного акта и железнодорожной накладной, удаленно получать разрешение таможен на погрузку судна. В представленной статье детально рассматривается стандартная процедура экспедирования одного контейнера при бумажном документообороте, приведены средние сроки на выполнения операции при обработке контейнеров. Представлены достоинства и сложности внедрения электронного документооборота при терминальной обработке контейнеров в портах России.

Ключевые слова: контейнерные терминалы, порт, экспедитор, документооборот, товарно-транспортная накладная, отслеживание прибытия.

DIGITALIZATION OF DOCUMENTARY TURNOVER DURING TERMINAL HANDLING OF CONTAINERS IN RUSSIAN PORTS

A.S. Domnina¹ assistant, Y. E. Goryashin² student

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: anna111000@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: goryashin2000@mail.ru

Abstract

At the present stage of economic reforms, most state strategic facilities are subject to increased requirements for their effective functioning, compliance with advanced technologies, and readiness to cope with a multiplying number of tasks. The number of such facilities include seaports of Russia. They play an important role in the country's economy, and therefore, the creation of a clear system of their management is now being paid close attention. Implementation of electronic document management systems in organizations engaged in economic activities is relevant. Electronic document management in ports makes it easier to perform many operations with documents for freight forwarders, stevedores, customs and agents. It also helps to register the arrival of cargo at the customs checkpoint remotely, automatically generate orders from the application, acceptance certificate and railway waybill, and remotely obtain customs permission to load the vessel. This article describes in detail the standard procedure for forwarding a single container for paper document processing, and provides the average time to complete the operation when processing containers. The advantages and difficulties of implementing electronic document management in the terminal processing of containers in Russian ports are presented.

Keywords: container terminals, port, forwarding agent, documentary turnover, waybill, arrival.

Ключевую роль в функционировании транспортных систем играют контейнерные терминалы и морские порты, которые являются одними из базовых элементов международных транспортных цепей [1].

Важной задачей порта остается и будет оставаться повышение пропускной способности контейнерных морских терминалов. Этот показатель влияет на конкурентоспособность и развитие транспортной системы в целом.

Авторитет порта и терминалов складывается из их способности справляться как с большими, так и с малыми грузопотоками. От организованной работы зависит: время перевозки, цена, сохранность качества транспортируемого груза, желание грузовладельцев в дальнейшем сотрудничать и отправлять товар именно через определенную «станцию», сотрудничая с конкретными компаниями и т.д.

Грузопоток - количественная мера прохождения груза по пути сообщения за определенный период времени.

Одной из характеристик грузопотока является срок технологического накопления контейнеров. В расчетах рекомендуют использовать срок от семи до восьми дней, но как показывает практика, срок может сильно отличаться от нормы как в большую, так и в меньшую сторону.

Существует ряд обязательных процедур и формальностей необходимых для прохождения контейнера через порт. Помимо терминала в этом процессе задействованы экспедитор, таможенный брокер, таможенные органы, агенты судоходных линий, санитарные, пограничные и другие контролирующие станции.

Инициатором внутрипортового экспедирования (всех процедур) является экспедитор, как представитель грузоотправителя. Находясь между клиентом и всеми контролирующими органами, экспедитор вынужден продвигать и влиять на способность порта увеличивать грузопотоки, извлекая из этого прямую выгоду. Скорость обработки каждого контейнера прямо влияет на возможность увеличивать объемы перевалки без увеличения штата.

Если взять для примера 2007 год, то можно обрисовать стандартную процедуру экспедирования одного контейнера с генеральным (не опасным, и не ветеринарные) грузом следующим образом:

- 1) Необходимо получить информацию о прогнозируемом времени прибытия судна в порт от судового агента линии.
- 2) По прибытию судна и постановке его под выгрузку необходимо начать отсчет бесплатного времени хранения контейнера на терминале и демереджа его со стороны линии.
- 3) После окончания выгрузки судна возможно появление Документа Учета (ДУ) по данному контейнеру, что для таможенных органов означает прибытие на территорию РФ - пересечение границы РФ.
- 4) Экспедитор должен удостовериться в наличии ДУ и физически забрать документ с живыми печатями в порту, после чего отвезти документ в офис и передать декларантам для тамо-

женного оформления. (либо для оформления таможенного транзита).

5) Декларант должен сформировать пакет документов для оформления в бумажном виде (включая оригиналы всех коммерческих документов) и физически приехать в таможенную, отстоять очередь, а затем подать пакет документов в окошко таможенного инспектора.

6) Дождаться окончания оформления и забрать все документы с печатями «выпуск разрешен».

7) Сделать несколько копий каждой бумаги и провести выпуск таможни по сервисному центру терминала (порта)

8) Отвезти оригиналы документов в офис и передать их менеджеру, который занимается данным клиентом.

9) Оформить товарно-транспортные накладные (ТТН) - распечатать их, проставить печати и подписать

10) Отвезти ТТН в порт и сдать их в сервис-центр для возможности перевозчику вывезти контейнер с территории порта.

Средние сроки выполнения операций приведены в таблице 1.

Таблица 1. Средние сроки выполнения операций при обработке контейнеров в порту (2007 г.)

Наименование операции	Продолжительность операции, ч
1. Постановка судна к причалу. Комиссия по приходу, подготовка к выгрузке	6
2. Грузовые операции (выгрузка/погрузка)	36
3. Подписание приемного акта, передача документов агенту линии	5
4. Получение экспедитором документов (копии коносаментов, разрядок)	6
5. Подготовка ГТД, подача и выпуск	76
6. Получение релиза (разрешение на вывоз) в бумажном виде	2-8
7. Проводка в таможне и по складу, снятие с учета	12
8. Оформление заявки на вывоз	3
9. Подача автомобиля в порт, въезд	26
10. Погрузка контейнера на автомобиль. Подписание ПСО, выезд из порта	3-4
Общее время	183 (7 дней, 15 ч.)

Как можно понять из вышеперечисленного, все эти действия занимали немало времени,

вплоть до недели. Небольшая задержка в процессе могла повлиять на качество товара и количество затраченных средств.

Система управленческой документации была основана на бумажном документообороте со всеми присущими ему недостатками [2]:

- процедуры согласования документов, ознакомления с резолюциями и передачи информации осуществлялись по принципу «бегунка», что приводило к потерям большого количества времени на перемещение сотрудников по территории, низкой оперативности ознакомления сотрудников с резолюциями руководителей, срыву сроков выполнения документов;
- отсутствие возможности проследить «жизненный цикл» документа и, как следствие, невозможность получения полного объема информации для принятия управленческих решений;
- нерегламентированный контроль исполнительской дисциплины, осуществляемый вручную путем проставления отметок в журналах и ежедневниках, приводил к снижению ответственности исполнителей;
- отсутствие единого электронного архива документов порождало многократное тиражирование бумажных экземпляров, неудобства в организации и одновременной работы нескольких исполнителей с документом, неэффективность поиска документов в текущем архиве и архиве за прошлые периоды.

В настоящее время, в период развития инновационной информационно-ориентированной экономики актуальным становится вопрос внедрения инновационных технологий в процесс управления, движения документов в организациях [3]. Эффективный современный процесс, позволяющий оптимизировать работу компаний, – это организация электронного документооборота. Любая структура может сэкономить свое рабочее время и начнет принимать стратегические и оперативные решения в несколько раз быстрее, опережая своих конкурентов [4].

Благодаря техническому развитию и переходу на цифровой документооборот между ведомствами, экспедитором и портом, все перечисленные действия не требуются. Менеджер, сидя в офисе, может отслеживать прибытие контейнера в он-лайн режиме, скачивать документы порта в PDF-формате немедленно после выгрузки контейнера, пересылать брокерам документы в электронном виде, получать «таможенный выпуск» так же в электронном виде, не выходя из офиса, либо даже находясь дома и работая на больничном. Многие физические

действия и передвижения, начиная с пункта №3, не требуются.

Но легче и удобнее становится не только посреднику (диспетчеру), с помощью специальных сайтов сам грузовладелец может отслеживать местоположение и состояние контейнеров: загрузка, разгрузка, прогресс оформления документов и т.д. На рис. 1 представлен возможный вариант получения данных о контейнере.

Рис. 1. Информация о контейнере.

Основные изменения, после внедрения системы электронного документооборота в порту:

- документ, подтверждающий поступление контейнера на терминал, формируется в момент выгрузки и автоматически пересылается экспедитору по почте, либо выгружается им с WEB-портала терминала;
- намного сократилось время получения документов в линиях, стало доступным получение документов выходные дни;
- распоряжение о выставлении контейнера на досмотр требовало от экспедитора оформления заявок, которые необходимо согласовывать с линией, портом и таможней. Сейчас процедура удаленно оформляется за считанные минуты;
- получение разрешения на вывоз груза(релиз). Отправляется агентами линии на терминал в электронном виде по внутренним каналам связи в течении 5 мин.;
- оформление заявок на вывоз осуществляется экспедиторами удаленно в электронном виде на WEB-портале терминала, при этом программа автоматически проверяет наличие разрешения на вывоз со стороны таможенных органов и контейнерной линии.

Внедрение современной системы электронного документооборота, имеет определенные трудности [5]. Среди них можно выделить такие общие для большинства компаний проблемы, как: сопротивление сотрудников технологическим нововведениям в связи с нежелани-

ем получать новые знания и навыки и опасением повышения прозрачности их трудовой деятельности; частая трансформация структуры организации с низкой степенью формализации бизнес-процессов; сильная взаимосвязь с различными структурными подразделениями и сторонними организациями, продолжающими функционировать на основе бумажной документации. Кроме того, при переходе на электронный документооборот необходимо оценить, как имеющиеся технические и технологические ресурсы, так и возможные затраты на них, что также может стать серьезным препятствием.

Таким образом, после цифровизации документального оборота в портах, скорость обработки контейнера сократилась как минимум на

двое суток в сравнении с прошлым десятилетием. Качество оказываемых экспедиторами услуг, информационная поддержка сервиса экспедирования, значительно повысилось. Использование такой системы способствует взаимодействию всех оперирующих в порту структур, приводит к незначительным потерям рабочего времени портовиков, к минимальным простоям судов, а в итоге — к увеличению пропускной способности и эффективности работы порта в целом. А также, существуют дальнейшие возможности углубления в электронный документооборот. Например, разработка специального приложения на телефон или планшетный компьютер.

Список литературы

1. Вербилло О. М. Пути повышения пропускных способностей портовых контейнерных терминалов / О. М. Вербилло // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2015. – Вып. №1 – С.2 – 6.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.it.ru/press_center/publications/6666/ (дата обращения: 07.03.2020).
3. Жильников А.Ю., Михайлова О.С. Электронный документооборот // Территория науки. 2017. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektronnyy-dokumentoorot> (дата обращения: 09.03.2020).
4. Шуклина Е.В., Скороход О.В. Внедрение электронного документооборота на малых предприятиях // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-elektronnogo-dokumentoorota-na-malyh-predpriyatiyah> (дата обращения: 10.03.2020).
5. Негреева В.В., Кузнецова Е.Д. Оптимизация логистической деятельности транспортно-экспедиторской фирмы // Экономика и экологический менеджмент. 2016. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-logisticheskoy-deyatelnosti-transportno-ekspeditorskoy-firmy> (дата обращения: 09.03.2020).

References

1. Verbilo O. M. Ways to increase the capacity of port container terminals M. Verbilo // Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral SO Makarov, 2015. - Issue. No. 1– C.2 - 6.
2. [Electronic resource]. - Access mode: http://www.it.ru/press_center/publications/6666/ (date of access: 03.03.2020).
3. Zhilnikov A.Yu., Mikhailova O.S. Electronic document management // Territory of science. 2017. No2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/elektronnyy-dokumentoorot> (date of access 09.03.2020).
4. Shuklina E.V., Skorokhod O.V. The introduction of electronic document management in small enterprises // Neat problems of aviation and astronautics. 2016. No. 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-elektronnogo-dokumentoorota-na-malyh-predpriyatiyah> (date of access: 03/10/2020)
5. Negreeva V.V., Kuznetsova E.D. Optimization of the logistics activities of a freight forwarding company // Economics and Environmental Management. 2016. No2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-logisticheskoy-deyatelnosti-transportno-ekspeditorskoy-firmy> (date of access: 09.03.2020).

РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ, ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 316.42

ИНДЕКС ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ И ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

М.С. Кузнецова¹ студент, Г.А. Сигора² канд. биол. наук, доцент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: marinafooxy@gmail.com

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: sigora1@yandex.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается индекс человеческого развития, который был создан как элемент устойчивого развития. Устойчивое развитие необходимо для обеспечения баланса между нынешним и будущим поколением. Необходимо не допустить истощения природных ресурсов и критичного загрязнения окружающей среды, обеспечить рациональное использование сырья и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. Описана история возникновения и цель создания индекса развития человеческого потенциала. Благодаря индексу можно отследить уровень развития стран и способность населения удовлетворять свои потребности. Определены основные показатели для расчета индекса и ранжирования его по расчетному значению. Описаны страны с самым высоким и самым низким индексом развития человеческого потенциала, а также указан рейтинг Российской Федерации среди других стран. Индекс рассчитывается ежегодно и ежегодно составляется список стран по уровню ИРЧП. В статье рассчитан индекс для Республики Крым и города Севастополя за 2018 г. Описано что влияет на индекс человеческого развития и каким образом можно повысить показатель. Определены основные принципы развития человеческого потенциала, а также основные источники получения информации для расчета индекса развития человеческого потенциала.

Ключевые слова: устойчивое развитие, индекс развития человеческого потенциала, окружающая среда, ВВП, продолжительность жизни, уровень образования, ИЧР для Республики Крым и г. Севастополя, уровень жизни, индикатор, расчет ИЧР.

HUMAN DEVELOPMENT INDEX AS AN INDICATOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF CRIMEA AND THE CITY OF SEVASTOPOL

M. S. Kuznetsova¹ student, G. A. Sigora² Cand. Biol. Sciences, associate Professor

¹ Sevastopol state University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: marinafooxy@gmail.com

² Sevastopol state University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: sigora1@yandex.ru

Abstract

This article discusses the human development index, which was created as an element of sustainable development. Sustainable development is necessary to ensure a balance between the current and future generations. It is necessary to prevent the depletion of natural resources and critical environmental pollution, to ensure the rational use of raw materials and to minimize the negative impact on the environment. The history of the origin and purpose of the human development index are described. Thanks to the index, it is possible to track the level of development of countries and the ability of the population to meet their needs. The main indicators for calculating the index and ranking it by the calculated value are determined. The countries with the highest and lowest human development index are described, as well as the rating of the Russian Federation among other countries. The index is calculated annually and a list of countries by HDI level is compiled annually. The article calculates the index for the Republic of Crimea and the city of Sevastopol for 2018. It is described what influences the human development index and how it can be improved. The basic prin-

ciples of human development are defined, as well as the main sources of information for calculating the human development index.

Keywords: sustainable development, human development index, environment, GDP, life expectancy, education level, HDI for the Republic of Crimea and Sevastopol, living standards, indicator, HDI calculation.

С каждым годом влияние человека на окружающую среду возрастает в несколько раз, это связано с развитием промышленности, модернизацией технологий, желанием заполучить как можно больше ресурсов. К сожалению, власть часто пренебрегает способами защиты окружающей среды, экономя на этом средства либо совершенно не используя их. Все что мы едим, чем мы дышим и что пьем непременно отразится на нашем будущем поколении. Уже сегодня можно проследить тенденцию ухудшения здоровья населения и учащение случаев рождения больных детей. Животный мир проблема загрязнения окружающей среды коснулась в первую очередь. Многие представители вымерли или их численность на грани вымирания. С каждым годом пополняется Черная книга мира.

В 80-х годах прошлого века человечество задумалось над тем, что окружающую среду надо охранять от избыточного влияния самого человека. В июне 1992 года на конференции Организации Объединённых Наций по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро, было введено понятие «устойчивое развитие», позже были разработаны индикаторы, позволяющие измерять степень устойчивости развития государств, отдельных регионов и территорий.

Устойчивое развитие представляет собой такое развитие, при котором обеспечивается удовлетворение потребностей настоящего времени, но в то же время не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. Таким образом, нынешнее поколение должно развиваться, удовлетворять свои нужды и не оказывать влияние на потребности будущего. Основные цели: ликвидация нищеты и голода, хорошее здоровье и благополучие, высокий уровень образования, гендерное равенство, чистая вода и санитария, развитие «чистой» энергетики, достойная работы и экономический рост, индустриализация, инновации, развитие инфраструктуры, снижение неравенства внутри стран, борьба с изменением климата, сохранение морских экосистем, сохранение экосистем суши и другие [1].

Одним из основных показателей устойчивого развития является индекс человеческого развития, который представляет собой смешанный показатель, характеризующий развитие человека в различных странах и регионах мира.

Индекс был разработан пакистанским экономистом Махбубом уль-Хаком и индийским экономистом Амартьей Сеном. С 1990 г. ИЧР рассчитывается ежегодно специалистами ПРООН совместно с экспертной комиссией.

Основной целью ИЧР является ранжирование стран по уровню жизни населения. Для расчета индекса используется 3 основных показателя [1]:

- продолжительность жизни;
- доход на душу населения;
- уровень образования.

Долголетие характеризует способность прожить долгую и здоровую жизнь, что составляет естественный жизненный выбор и одну из основных универсальных потребностей человека. Базовый показатель долголетия – средняя продолжительность предстоящей жизни при рождении (СППЖР). Этот показатель, исчисляемый отдельно для мужского и женского населения, рассчитывается на основе условного поколения, которое составляется из совокупности людей различных возрастов, умерших в данном году. СППЖР единым числом выражает интенсивность смертности населения данной страны (региона и т.п.) в данный календарный год, т.е. характеризует долголетие гипотетического новорожденного, который проживет всю жизнь в условиях данной интенсивности смертности. В условиях совершенствования системы здравоохранения и повышения качества жизни реальному новорожденному, появившемуся на свет в данном году, в среднем удастся прожить дольше, чем гипотетическому.

Образованность рассматривается как способность к получению и накоплению знаний, к общению, обмену информацией. Характеристиками образованности являются грамотность взрослого населения и полнота охвата обучением. Под грамотностью понимается способность человека прочесть, понять и написать короткий простой текст, касающийся его повседневной жизни. Уровень грамотности взрослого населения – доля грамотных в возрасте 15 лет и старше – служит важнейшим базовым показателем данного направления человеческого развития. Уровень грамотности относится к реальному населению и является показателем состояния образования, в значительной степени зависящим от грамотности в течение предыдущих 10–20 лет. Для индустриальных стран с рыночной эко-

номикой уровень грамотности априори устанавливается равным 99%. Учитывая тенденции повышения образовательного уровня и необходимость более адекватного отражения различий между индустриальными странами, образованность стала оцениваться комбинацией двух базовых показателей: уровнем грамотности взрослого населения и совокупной долей учащихся. Последний показатель рассчитывается как отношение общего числа учащихся (зачисленных) на всех ступенях обучения (начальной, средней (средней специальной) высшей, послеуниверситетской) вне зависимости от их возраста к общей численности населения в возрасте от 6 до 24 лет.

Уровень жизни характеризует доступ к материальным ресурсам, необходимым для достойного существования, включая «ведение здорового образа жизни, обеспечение территориальной и социальной мобильности, обмен информацией и участие в жизни общества». Уровень жизни, в отличие от долголетия и образованности, только открывает возможности, имеющиеся у человека, но не определяет их использование. Иными словами, это средство, расширяющее возможность выбора, но не собственно выбор. Уровень жизни является непрямым индикатором возможностей. Выбор базового показателя, адекватно отражающего данное направление человеческого развития, представляет собой серьезную проблему. Идеальный показатель уровня жизни должен был бы учитывать многочисленные факторы: личный доход; распределение доходов между слоями общества; ранее накопленная собственность; доступ к земельным ресурсам и кредитам; развитость инфраструктуры и механизм доступа к общественным фондам потребления (здравоохранению, образованию, транспорту, коммунальным услугами и др.), индивидуальный стиль жизни; размер и структуру семьи; блага, производимые в домашнем хозяйстве; природно-климатические и экологические условия в месте проживания и т.д. [2].

Большое число факторов, подлежащих учету, отсутствие регулярно собираемой информации по одним, сложность и / или несопоставимость исчисления других – все это нарушает принцип формирования интегрального показателя и делает практически невозможной оценку уровня жизни с помощью какого-либо прямого показателя.

В связи с этим для оценки уровня жизни используется косвенный базовый показатель – валовой внутренний продукт (ВВП) на душу населения. Для межстранового сравнения использу-

ется реальной ВВП на душу населения, рассчитанный в соответствии с паритетом покупательной способности (ППС) валюты. Для межрегионального сравнения субъектов одной страны, в том числе и Российской Федерации, уровень жизни должен оцениваться аналогичным макроэкономическим показателем – реальным валовым региональным продуктом (ВРП) на душу населения [3].

Основные принципы развития человеческого потенциала:

- рост продолжительности жизни;
- доступность медицинской помощи;
- высокий уровень образования;
- экономическое развитие страны;
- обеспечение благоприятной окружающей среды;
- равноправное распределение благ внутри страны;
- высокая оплата труда населению.

При расчете индекса получается значение от 0 до 1, далее страны ранжируются в определенном порядке:

- страны с очень высоким уровнем ИЧР (значение индекса 0,8 и больше);
- страны с высоким уровнем ИЧР (0,7-0,8);
- страны со средним уровнем ИЧР (0,55-0,7);
- страны с низким уровнем ИЧР (менее 0,55).

Для расчета индекса и составление ежегодного отчета статистические данные берутся из отдела народонаселения ООН, института ЮНЕСКО, Всемирного банка, а также из национальных источников статистики.

Как интегральный показатель ИЧР отображает средний уровень достижений по трем показателям. Для расчета учитывается максимальная продолжительность жизни – 85 лет; минимальная – 25 лет; уровень образования, максимальный – 100%, минимальный – 0%; величина валового национального дохода на душу населения в долларах США по паритету покупательной способности, максимальное – 40 000 долларов, минимальное – 100 долларов по ППС.

Каждый показатель (индекс) рассчитывается по формулам вида:

$$I = \frac{D_{\phi} - D_{\min}}{D_{\max} - D_{\min}}.$$

где D_{ϕ} — фактическое значение показателя;
 $D_{\min}$ — значение показателя, принятое как минимальное;

$D_{\max}$ — значение показателя, принятое как максимальное.

Индекс дохода рассчитывается иначе, в нем используется десятичный логарифм реального

душевого дохода в соответствии с принципом убывающей полезности дохода:

$$W(Y) = \frac{\log y_i - \log y_{\min}}{\log y_{\max} - \log y_{\min}}.$$

ИЧР представляет собой среднее геометрическое трех индексов измерений.

Индекс не учитывает внутреннее неравенство распределения благ внутри страны - это основной недостаток индекса.

Норвегия является лидером по индексу ИРЧП (0,954), второе и третье место делят между собой Австралия и Швейцария, Россия занимает 49-50 место с индексом 0,798-0,816, последнее место среди всех стран занимают Нигер и Центральноафриканская Республика.

Проведен расчет ИЧР для Республики Крым и города Севастополь, результаты которого занесены в таблицу 1. При расчете использовались данные государственной статистики [4].

Таблица 1. ИЧР для Республики Крым и города Севастополь на 2018 г.

	ВРП, руб	ВРП по ППС на душу населения, долл	Численность населения, тыс.чел.	Доля учащих в возрасте до 24 лет, %
Республика Крым	415,9 млрд	9221,9	1911,8	73,4
г. Севастополь	87,6 млрд	8382,5	443	72,3
	Доля грамотных людей (старше 15 лет), %	Средняя ожидаемая продолжительность жизни при рождении, лет		ИЧР
Республика Крым	99,8	72		0,799
г. Севастополь	99,9	73,65		0,819

После проведения расчетов, индекс человеческого развития на 2018 г. для Республики Крым составил – 0,799, для г. Севастополя – 0,819.

Республика Крым и город Севастополь имеют высокий показатель индекса человеческого развития. Таким образом, население Республики Крым и города Севастополя имеют достаточно возможностей для самореализации и комфортной жизни.

Положительную динамику обеспечивает рост промышленности и инвестиций. После вхождения Республики Крым и города Севастополя

в состав Российской Федерации бюджет республики и города сразу увеличился в несколько раз.

Основными направлениями является развитие, прежде всего, транспортного комплекса, развитие энергетического комплекса, инженерной инфраструктуры и водообеспечения. Еще одна важная задача - социальное обустройство.

ИЧР является одним из важнейших индексов устойчивого развития, благодаря ему можно оценить уровень развития государства, субъекта, города.

Для увеличения показателя индекса человеческого развития необходимо улучшать условия жизни населения, развивать экономику страны и систему образования социальной защиты.

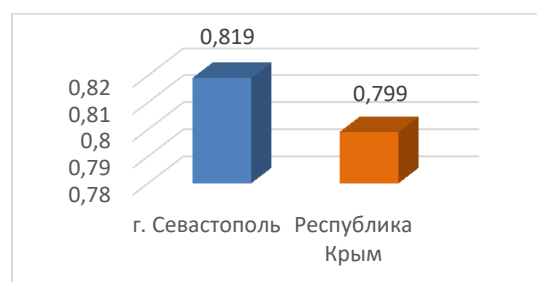


Рис. 1. Индекс человеческого развития г. Севастополя и Республики Крым

Из рисунка 1 видно, что у г. Севастополя индекс человеческого развития выше, чем у Республики Крым.

Главная цель государства – достижение высоких стандартов качества жизни человека, его разностороннего развития, непрерывного обучения, реализации интеллектуального и творческого потенциала, отдыха и оздоровления, на базе внедрения современных достижений науки и технологий, ресурсосбережения и экологизации всех сфер жизнедеятельности.

В этих целях в Республике Крым и городе Севастополе активно создается инновационная инфраструктура, осуществляется переход системы образования с традиционных методов обучения на инновационные, позволяющие в рамках образовательного процесса получать не «профессию», а уникальный набор компетенций, дающий возможность реализовать полученные знания и навыки в высокотехнологичных отраслях экономики.

С переходом Республики Крым в состав Российской Федерации стремительно начала развиваться экономика, выше так же стал уровень образования, появилось больше возможностей у молодых ученых проявить себя. Обеспечивая высокий уровень качества жизни населения, государство стимулирует развитие современных технологий и производства.

Список литературы

1. Устойчивое развитие [Электронный ресурс]: <http://makingsense.rbc.ru/sdgs>
2. Индекс развития человеческого потенциала [Электронный ресурс]: <http://worldpopulationreview.com/countries/hdi-by-country/>
3. Индекс человеческого развития [Электронный ресурс]: <https://mirznanii.com/a/213788/indeks-chelovecheskogo-razvitiya/>
4. Управление Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю [Электронный ресурс]: http://crimea.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/crimea/ru/municipal_statistics/mStat_Crimea/main_indicators/

References

1. Sustainable development [Electronic resource]: <http://makingsense.rbc.ru/sdgs>
2. The index of human development [Electronic resource]: <http://worldpopulationreview.com/countries/hdi-by-country/>
3. The index of human development [Electronic resource]: <https://mirznanii.com/a/213788/indeks-chelovecheskogo-razvitiya/>
4. Department of the Federal state statistics service for the Republic of Crimea and Sevastopol [Electronic resource]: http://crimea.old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/crimea/ru/municipal_statistics/mStat_Crimea/main_indicators/

УДК 330.15

МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОГО ЭКОЛОГО - ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНОВ РФ

О. А. Тюленева¹ студент, Г.А. Сигора² канд. биол. наук, доцент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: Olka698632@yandex.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: sigora1@yandex.ru

Аннотация

Наличие благоприятных условий для устойчивого «зеленого» роста связано с обеспечением эколого-экономической безопасности на территории по принципу слабого звена и является необходимым условием развития современной экономики и общества на любых уровнях эколого-экономической системы. Достижение эколого-экономической безопасности является обязательной характеристикой для всех объектов в мировой экономики, ориентированной на эколого-экономическое хозяйство ноосферного типа и жизнеспособность экономической деятельности, развивающейся на условиях коэволюции экономики с экологией. Общество, экономика и природа – неразделимы. Обеспечение благосостояния общества без избыточного давления на природу, интересы экономики, с одной стороны, и сбережение природы, с другой стороны, должны быть сбалансированы и должны ориентироваться на долгосрочную перспективу. Вся система эколого-экономической безопасности выступает в качестве фактора, обуславливающего устойчивое развитие регионов, которые имеют тенденции к экономическому росту. Ресурсное своеобразие субъектов гражданских правоотношений, которое является системой обеспеченности жизнеспособности, определяет эколого-экономическую безопасность субъекта Федерации. Необходимо задуматься о том, что потенциал естественных природных систем будет быстро исчерпываться, и человечеству грозит тупиковая ситуация из-за нехватки ресурсов, что будет усугубляться быстрым ростом народонаселения. Обеспечение эколого-экономической безопасности требует большей системности оценок и подходов в части критериев безопасности России во всех аспектах их проявления, а не только экономических; внутренних условий и критериев, объективно воздействующих на факторы безопасности страны. По каждой из сфер необходимы, разработка показателей и определение пороговых значений, позволяющих комплексно оценить грозящую опасность и осуществить комплекс программно-целевых мероприятий по соответствующим сферам.

Ключевые слова: безопасность, зеленый рост, индекс, мониторинг, развитие, скорректированные чистые накопления, устойчивое развитие, экология, экономика.

MONITORING OF SAFE ECOLOGICAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT REGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

O. A. Tyuleneva¹ student, G. A. Sigora² cand. biol. sciences, associate professor

¹ Sevastopol state University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: Olka698632@yandex.ru

² Sevastopol state University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: sigora1@yandex.ru

Abstract

The availability of favorable conditions for sustainable "green" growth is associated with ensuring environmental and economic security on the territory of the weak link principle and is a necessary condition for the development of modern economy and society at all levels of the ecological and economic system. The achievement of ecological and economic security is a mandatory characteristic for all countries in the world economy, focused on the ecological and economic economy of the noosphere type and the viability of economic activities that develop under the conditions of co-evolution of the economy with the environment. Society, economy, and nature are inseparable. Ensuring the welfare of society without excessive pressure on nature, the interests of the economy, on the one hand, and the conservation of nature, on the other hand, must be balanced and should be oriented to the long term. The entire system of ecological and economic security acts as a factor that determines the sustainable development of regions that have a tendency to economic growth. Resource originality of subjects of civil legal relations, which is a system of ensuring viability, determines the ecological and economic security of the subject of the Federation. It is necessary to reflect on the fact that the potential of natural systems will be rapidly depleted, and humanity will face a stalemate due to lack of resources, which will be compounded by the rapid growth of the population. Ensuring environmental and economic security requires more systematic assessments and approaches in terms of Russia's security criteria in all aspects of their manifestation, not just economic ones; internal conditions and criteria that objectively affect the security factors of the country. For each of the spheres, it is necessary to develop indicators and define thresholds that allow a comprehensive assessment of the threat and implement a set of program-targeted measures for the relevant areas.

Keywords: security, green growth, index, monitoring, development, adjusted net savings, sustainable development, ecology, economy.

1. Введение

В связи с финансово-экономическим кризисом, обострением глобальных проблем человечества, необходимостью формирования нового «зеленого» экономического курса на основе эколого – экономического индекса. Переход к устойчивому развитию тесно связан с процессами экологизации экономики. Для многих постиндустриальных стран «озеленение» экономики из желательного, но вторичного эффекта, превращается в основную цель. Для обозначения процесса экологизации в мире все чаще используют понятия «зеленая экономика» и «зеленый рост». Инновационный рост и рост энергоэффективной, так называемой «зелёной» экономики, который, безусловно, выгоден всей России».

Зеленая экономика определяется как экономика, которая повышает благосостояние людей и обеспечивает социальную справедливость, и при этом существенно снижает риски для окружающей среды и ее деградации. Она является основой устойчивого развития. Важными чертами зеленой экономики являются:

эффективное использование природных ресурсов, сохранение и увеличение природного капитала, уменьшение загрязнения, низкие углеродные выбросы, предотвращение утраты экосистемных услуг, биоразнообразие и т.д.

В России в последние годы активизировалась деятельность по разработке различных социально-экономических программ, стратегий, проектов. Вся система эколого-экономической безопасности выступает в качестве фактора, обуславливающего устойчивое развитие регионов, которые имеют тенденции к экономическому росту. Ресурсное своеобразие субъектов гражданских правоотношений, которое является системой обеспечения жизнееспособности, определяет эколого-экономическую безопасность субъекта Федерации. Необходимо задуматься о том, что потенциал естественных природных систем будет быстро исчерпываться, и человечеству грозит тупиковая ситуация из-за нехватки ресурсов, что будет усугубляться быстрым ростом народонаселения.

Экологическая деятельность как одна из составляющих сбалансированного развития

стала экономически оправданной. Более того, экологическая деятельность также начинает приобретать свойства не только товара, но и значимого капитала, приумножает всю систему создания дополнительных возможностей для развития эколого-экономической безопасности.

2. Эколого – экономический индекс развития регионов РФ

После 2005 г. в России возрос интерес к разработке индикаторов для решения экономических, социальных и экологических проблем. Это было, в частности, связано с попыткой внедрить концепцию «бюджетирование ориентированное на результат» для министерств, ведомств, и регионов. Ранжирование по индексу базируется на агрегировании региональных экологических, экономических и социальных индикаторов. На его основе можно лучше понять, как забота об охране окружающей среды в регионах, в системе регионального управления, социально экономической ситуации влияет на экономику и население.

В основу разработки эколого-экономического индекса для регионов положены индикаторы устойчивого развития.

Для разработки индекса был взят мировой опыт оценки устойчивого развития, и основным выбран оптимальный показатель – Индекс скорректированных чистых накоплений (ИСЧН). Этот индекс – результат коррекции валовых внутренних накоплений. ИСЧН считается одним из самых проработанных индикаторов устойчивого развития. Эти индикаторы описывают «качество» экономического роста (социальное и экологическое), т.е. рост экономики при обеспечении социального развития и сохранения окружающей среды.

Скорректированные чистые накопления (СЧН), которые включают в себя основной, природный и человеческий капиталы - основа

национального богатства. Оценка скорректированных чистых накоплений дает возможность произвести сравнение регионов по устойчивости экологического развития. Т.е., ИСЧН – это эколого-экономический индекс.

СЧН для регионов РФ рассчитываются по формуле (1):

$$СЧН = ВН - ИД - ИП - УЗОС + РЧК + ЗОС + ООПТ \quad (1)$$

где:

- ВН – валовые накопления основного капитала;
- ИД – инвестиции в основной капитал по виду деятельности «Добыча полезных ископаемых»;
- ИП – истощение природных ресурсов;
- УЗОС – ущерб от загрязнения окружающей среды;
- РЧК – расходы бюджета на развитие человеческого капитала;
- ЗОС – затраты на охрану окружающей среды;
- ООПТ – оценка особо охраняемых природных территорий.

Эколого-экономический индекс (ИСЧН) рассчитывался как отношение скорректированных чистых накоплений к ВРП по формуле (2):

$$ИСЧН = СЧН / ВРП \cdot 100\%, \quad (2)$$

где:

- СЧН – скорректированные чистые накопления;
- ВРП – валовой региональный продукт.

Во время расчетов необходимо учитывать то, что в российских регионах очень высокая дифференциация по уровню своего развития, связанная с их отраслевой специализацией, на которой отразились особенности индустриального развития в советские годы.

Эколого-экономический индекс (ИСЧН) состоит из многих входных переменных. Структурная схема системы индекса скорректированных чистых накоплений представлена на рис. 1.

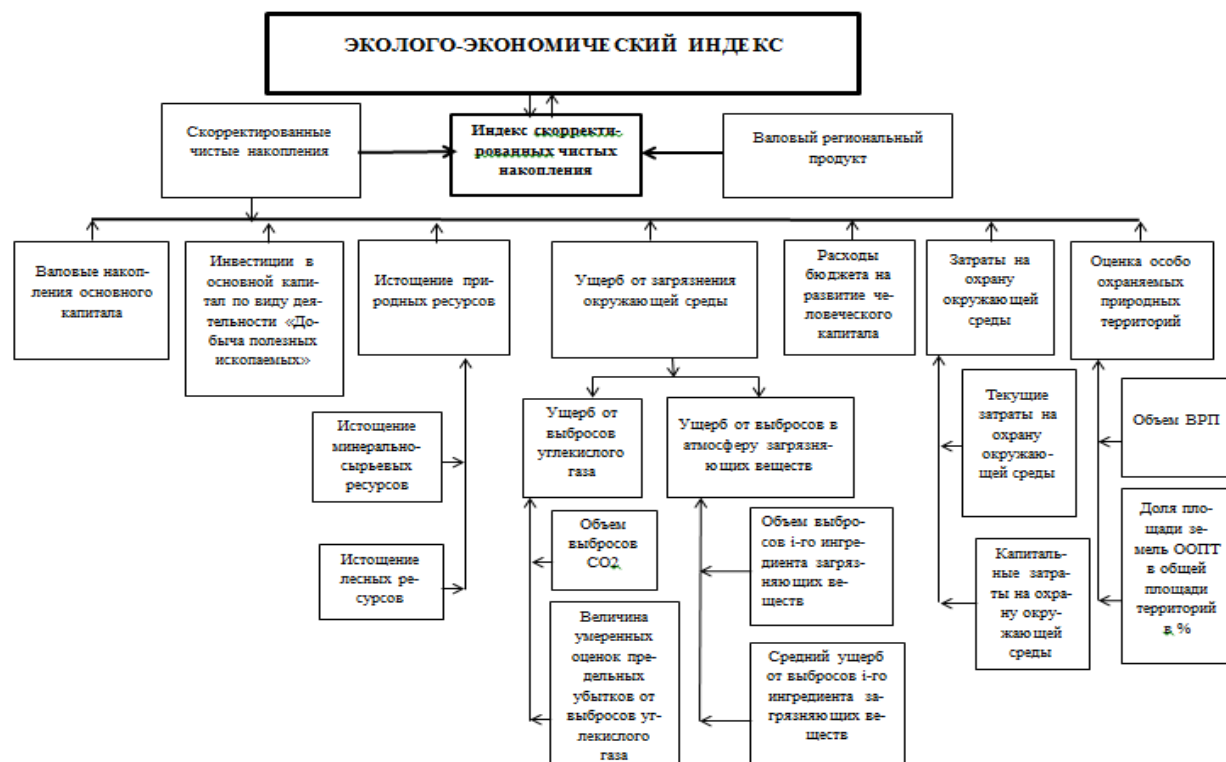


Рис. 1. Структура эколого-экономического индекса [1]

Расчета ЭЭИ позволяют выявить ряд закономерностей распределения регионов с учетом их отраслевой специализации. Большинство лидеров по значению индекса входят в аграрно-промышленную группу. Лидером по значению ЭЭИ в 2012 году является Республика Алтай. Здесь национальное богатство формируется в основном за счет природного и человеческого капиталов. Основной вклад в формирование скорректированных чистых накоплений вносит рост запасов леса, оценка которого почти на 50% превышает ВРП республики. С учетом особенностей методики расчета ЭЭИ, его значение у всех сырьевых экспортно-ориентированных регионов невысокие. Республика Коми, у которой самое высокое значение показателя в этой группе, занимает только 61-е место среди всех субъектов РФ.

Одним из основных факторов, обусловивших низкие значения индекса у многих экспортно-сырьевых регионов, является существенное истощение природных ресурсов вследствие преобладания в структуре экономики добывающего сектора, что ведет к сокращению природного богатства. В экономике регионов с низким эколого-экономическим индексом, входящих в другие группы, добывающий сектор также играет довольно весомую роль. Например, низкие позиции Тюменской области, занимающей 79-е место по эколого-экономическому индексу (скорректированные чистые накопления составляют отрицательную величину -28,4% к ВРП), обусловлены существенным истощением природных ресурсов.

Доля добычи полезных ископаемых в структуре ВРП области составляет 50,5% [3].

Исходя из выше представленных данных видны важные аспекты эколого-экономической ситуации в регионах страны. На его основе можем наблюдать, как забота об охране окружающей среды в регионах, в системе регионального управления, социально - экономической ситуации влияет на экономику и население.

Можно наблюдать, что общество, экономика и природа – неразделимы. Именно поэтому нам нужна и новая ветка развития, которая способна обеспечить благосостояние общества без избыточного давления на природу, интересы экономики, с одной стороны, и сбережение природы, с другой стороны, должны быть сбалансированы и должны ориентироваться на долгосрочную перспективу, поэтому с уверенностью можно сказать, что устойчивое развитие и ее составляющие (общество, экономика и природа) не отделимы в настоящее время от понятия безопасности.

Таким образом, полученный расчет ЭЭИ, в дальнейшем можно будет использовать не только в качестве исследования целей региональной политики, но и проводить мониторинг безопасного социально - эколого экономического развития регионов.

Эколого-экономическое развитие региона можно трактовать как процесс, ориентированный на постоянное сохранение его динамического равновесия посредством целенаправлен-

ного использования имеющегося потенциала и условий внешней среды.

Предполагается, что управление инновационным развитием региона с учетом эколого-экономической безопасности должно быть направлено на совершенствование эколого-экономической деятельности субъектов системы управления регионом [4].

Обеспечение эколого-экономической безопасности региона и страны в целом предполагает осуществление системы мер, связанных с нормативно-правовым, технологическим, экономическим управлением и контролем за состоянием отдельных объектов эколого-экономической безопасности. Такая система мер требует разработки стратегии обеспечения эколого-экономической безопасности. Деятельность по обеспечению эколого-экономической безопасности должна носить планомерный характер, но для осуществления данной стратегии необходимо несколько подходов:

- оборонительный – связан с укреплением экологической безопасности путем снижения уровня уязвимости геосоциальных систем от внешних воздействий;
- адаптивный – обусловлен развитием механизмов усиления приспособляемости геосоциальных систем;
- кооперативный – предполагает развитие взаимовыгодного международного сотрудничества для устранения (или снижения) опасности воздействия на окружающую природную;

Применяя любую из данных стратегических альтернатив, государство (регион) осуществляет систему мер для управления эколого-экономической безопасностью данного объекта [2].

3. Заключение

Внедрение ЭЭИ способствует положительному воздействию, на развивающиеся субъекты РФ, которые на опыте других могут направить экологическую политику в нужное русло. ЭЭИ позволяет оценить, насколько предпринимаемые федеральной и региональной властью усилия позволяют ликвидировать экологически неблагоприятное наследие предыдущих этапов развития региона. Однако, эколого-экономическая безопасность сложная система, включающая ряд важнейших элементов подсистем: экономическую, экологическую и социальную. Они существенно отличаются друг от друга по содержанию информационного обеспечения и механизмам реализации. По каждой из сфер необходимы разработка показателей и определение пороговых значений, позволяющих комплексно оценить грозящую опасность и осуществить комплекс программно-целевых мероприятий по соответствующим сферам. Целевые ориентиры устойчивого развития могут быть выражены в показателях, характеризующих качество жизни, уровень экономического развития и экологического благополучия. Эти показатели должны отражать те уровни, при которых обеспечивается безопасное развитие России в экономическом, социальном, экологическом, оборонном и других аспектах.

Список литературы

1. Сигора Г.А., Хоменко Т.Ю., Эколого-экономический индекс для Республики Крым и города Севастополя - Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing - 2016. – С. 68;
2. Уткова М. А., Утков П. Ю. Эколого-экономическая безопасность в системе регионального управления: практико-ориентированная монография. — СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета управления и экономики, 2014. — С. 116;
3. Эколого-экономический индекс/С.Н. Бобылев [и др.] – М.: WWF России, РИА Новости при поддержке ВОО «Русское географическое общество» - 2012. – С. 147.
4. Сигора Г.А., Ничкова Л.А., Хоменко Т.Ю. Эколого-Экономический индекс как показатель безопасного устойчивого развития регионов [Электронный ресурс], - <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskii-indeks-kak-pokazatel-bezopasnogo-ustoychivogo-razvitiya-regionov>

References

1. Sigora G. A., Khomenko T. Yu., Ecological and economic index for the Republic of Crimea and the city of Sevastopol-saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing-2016. - С. 68;
2. Expanded M. A., Wefts Y. P. Ecological and economic security in the system of regional governance: practice-oriented monograph. — SPb.: St. Petersburg University of management and Economics press, 2014. — 116 C.;
3. Ecological and economic index / S. N. Bobylev [et al.] - Moscow: WWF of Russia, RIA Novosti with the support of the SBI "Russian geographical society" - 2012. - P. 147.
4. Sigora G. A., Nichkova L. A., Khomenko T. Yu. Ecological and Economic index as an indicator of safe sustainable development of regions [Electronic resource], - <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-ekonomicheskii-indeks-kak-pokazatel-bezopasnogo-ustoychivogo-razvitiya-regionov>

УДК 316.423

РЕЙТИНГ СОЦИАЛЬНОГО ПРОГРЕССА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СТРАН МИРА

К. И. Торшина¹ студент, Г. А. Сигора² канд. биологических наук, доцент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: torshina_kristina@bk.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: sigora1@yandex.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается комбинированный показатель международного исследовательского проекта «The Social Progress Imperative», который измеряет достижения стран мира с точки зрения общественного благополучия и социального прогресса. Индекс социального прогресса дает целостное и адекватное представление о социальном прогрессе, как в отдельных странах, так и в мире в целом, не искаженное какими-либо обстоятельствами. В статье выделены три основных аспекта, которые включают в себя более 50 показателей, для измерения индекса. Индекс социального прогресса измеряет достижения страны по шкале от 0 (наименьшая степень устойчивости) до 100 (наибольшая степень устойчивости). Рассмотрен индекс социального прогресса России на 2019 год. В табличной форме приведены результаты исследования индикатора социального прогресса для различных стран и регионов за последние 5 лет. Выделены ключевые направления совершенствования социального развития России, на которых, в первую очередь, следует добиваться успеха в деле повышения качества жизни россиян. Индекс социального прогресса стал одним из важнейших составляющих устойчивого развития. Индекс дает информацию для сравнений и содержит подробные профили каждого государства, включая детализацию итогового положения в рейтинге.

Ключевые слова: общественное благополучие, социальный прогресс, устойчивое развитие, индекс, исследование индикатора, качество жизни, динамика, измерение, рейтинг, показатели.

RATING OF SOCIAL PROGRESS AS AN INDICATOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE COUNTRIES OF THE WORLD

K. I. Torshina¹ student, G. A. Sigora² cand. biological sciences, docent

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, torshina_kristina@bk.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, sigora1@yandex.ru

Abstract

This article discusses the combined indicator of the international research project «The Social Progress Imperative», which measures the achievements of countries in terms of social welfare and social progress. The index of social progress gives a holistic and adequate presentation of social progress, both in individual countries and in the world as a whole, not distorted by any circumstances. The article identifies three main aspects, which include more than 50 indicators, for measuring the index. The Social Progress Index measures a country's achievements on a scale of 0 (the lowest degree of sustainability) to 100 (the highest degree of sustainability). The index of Russia's social progress for 2019 is considered. The tabular form shows the results of a study of the indicator of social progress for various countries and regions over the past 5 years. The key areas of improving the social development of Russia are identified, in which, first of all, success should be achieved in improving the quality of life of Russians. The index of social progress has become one of the most important components of sustainable development. The index provides information for comparisons and contains detailed profiles of each state, including details of the final position in the ranking.

Keywords: indicators, social welfare, social progress, sustainable development, index, indicator research, quality of life, dynamics, measurement, rating.

Устойчивый тип развития позволяет удовлетворить потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих

поколений удовлетворять свои собственные потребности. Устойчивое развитие — процесс экономических и социальных изменений, при

котором эксплуатация природных ресурсов, направление инвестиций, ориентация научно-технического развития, развитие личности и институциональные изменения согласованы друг с другом и укрепляют нынешний и будущий потенциал для удовлетворения человеческих потребностей и устремлений [1].

Главными компонентами устойчивого развития являются три основных составляющих — экономическая, социальная, экологическая.

Экологический компонент устойчивого развития исходит из того, что человечеству важно уметь жить при ограниченном потреблении природных ресурсов. Научиться возвращать обратно в природную среду как можно меньше отходов своей жизнедеятельности. Устойчивое развитие предполагает обеспечивать целостность экологических систем, сохранение их способностей к самовосстановлению и адаптации к изменениям. Способность экосистем к самовосстановлению значительно снижается при деградации природных ресурсов, утрате биологического разнообразия и загрязнении окружающей среды.

Экономический подход предусматривает не только структурные, но и территориальные сдвиги в мировой экономике. Целевыми и лимитирующими показателями устойчивого развития могут быть уровни удельного потребления энергии и производство отходов. Все опасные вещества, применяемые в экономике должны находиться под строгим контролем. Контролируемыми параметрами должны быть показатели качества атмосферных вод, естественные и измененные человеком территории, лесные угодья с их продуктивностью и степенью сохранности, биологические виды, находящиеся под угрозой исчезновения.

Устойчивое социальное развитие означает решение демографических проблем, занятость населения, качество и уровень жизни. Оно направлено на человека, на сохранение стабильности социальных и культурных систем — на расширение доступа к знаниям, культурным ценностям, на обеспечение гражданских прав и личной безопасности человека.

Необходимость разработки индикаторов устойчивого развития было отмечено в «Повестке дня на XXI век», принятой на конференции ООН в городе Рио-Де-Жанейро в 1992 году. Основной целью введения индексов является оценка ситуации или события для прогноза развития сложившейся ситуации и разработки решений существующих проблем.

Для реализации устойчивого развития государств и мира в целом необходимы комплекс-

ные и обобщенные показатели, характеризующие состояние и динамику развития. Такими показателями являются индикаторы и индексы устойчивого развития.

Под индикатором устойчивого развития понимается показатель (выводимый из первичных данных, который обычно нельзя использовать для интерпретации изменений), позволяющий судить о состоянии или изменении экономической, социальной или экологической переменной [2]. В свою очередь, индекс устойчивого развития представляет собой агрегированный или взвешенный индикатор, основанный на нескольких других индикаторах или данных.

Основными функциями индикаторов устойчивого развития являются:

- обоснование принимаемого решения с помощью количественной оценки;
- анализ изменения в развитии;
- выявление недостатков в природопользовании;
- облегчение доступа к информации для разных категорий пользователей;
- информирование общественности об определенных экологических угрозах.

Разработкой индикаторов устойчивого развития занимаются ведущие международные организации: ООН. Всемирный банк, организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), Европейская комиссия, Научный комитет по проблемам окружающей среды (SCOPE), ВОЗ, ЮНЕСКО и ряд других.

Индикаторы устойчивого развития должны служить для различных структур власти, лиц принимающих решения общественности своеобразным барометром экологического состояния мира, стран и регионов, происходящих в них процессов и тенденций развития.

Процесс развития от низшего к высшему сопровождал человечество с первобытных времен и продолжает действовать и сегодня, и поэтому, проблема социального прогресса стран считается актуальной. Индекс социального прогресса — это комбинированный показатель международного исследовательского проекта «The Social Progress Imperative», который измеряет достижения стран мира с точки зрения общественного благополучия и социального прогресса [3]. Основная цель измерения индекса заключается в том, чтобы дать целостное и адекватное представление о социальном прогрессе, как в отдельных странах, так и в мире в целом, не искаженное какими-либо обстоятельствами.

Индекс социального прогресса разработан в 2013 году под руководством Майкла Портер, который является председателем «The Social Progress Imperative», а также профессором Гарвардского университета, специалистом в области стратегического управления и международной конкурентоспособности.

Предметом измерения индекса являются три основных аспекта, которые включают в себя более 50 показателей (см. таблицу 1) [4].

Таблица 1. Основные аспекты и показатели.

Основные потребности человека	
Компоненты	Индикаторы
Питание и базовая медицинская помощь	Недоедание, уровень материнской смертности, коэффициент детской смертности, рост ребенка, смерть от инфекционных заболеваний.
Вода и санитария	Доступ к питьевой воде, доступ к водопроводной воде, доступ к санитарно-техническим средствам, сельская открытая дефекация.
Укрытие	Доступ к электричеству, качество электроснабжения, загрязнение воздуха в быту, доступ к технологиям для приготовления пищи.
Личная безопасность	Уровень убийств, преступность, политические убийства и пытки, ДТП.
Основы благополучия	
Доступ к базовым знаниям	Уровень грамотности взрослого населения, зачисление в начальную и среднюю школу, доступ к качественному образованию.
Доступ к информации и коммуникациям	Подписки на мобильные телефоны, интернет, онлайн-управление.
Здоровье и благополучие	Ожидаемая продолжительность жизни в 60, преждевременная смерть, доступ к основным услугам и качественному здравоохранению.
Качество окружающей среды	Загрязнение атмосферного воздуха, выбросы парниковых газов.
Возможность	
Личные права	Политические права, свобода религии и самовыражения, доступ к правосудию, права собственности для женщин.

Продолжение таблицы 1

Личная свобода и выбор	Уязвимая занятость, коррупция, ранний брак.
Открытость	Равенство политической власти по полу, дискриминация и насилие в отношении меньшинств, равенство политической власти по социально-экономическому положению.
Доступ к продвинутому образованию	Годы высшего образования, глобально оцениваемые университеты, процент студентов высших учебных заведений, обучающихся в глобальных университетах.

Главной идеей автора индекса социального прогресса считается создание, исходя из современных аналитических возможностей, такого инструмента, который строго измеряет показатели страны по многим аспектам, актуальным для стран на всех уровнях экономического развития. В настоящее время, индекс дает правительствам и предприятиям инструменты для точного отслеживания социальных и экологических показателей, а также для улучшения государственной политики и выбора инвестиций. В целом, индикатор социального прогресса обеспечивает первую конкретную основу для сравнительного анализа, а затем определение приоритетности программы действий, способствующей улучшению социальных и экономических показателей.

Индекс социального прогресса измеряет достижения страны по шкале от 0 (наименьшая степень устойчивости) до 100 (наибольшая степень устойчивости) на основе полученных данных в трех вышеуказанных базовых категориях.

На 2019 год индекс социального прогресса России составляет 69,71 и занимает 62-ое место из 149 стран (см. рис. 1).



Рис. 1. Индекс социального прогресса России 2019.

Позитивную динамику Россия показала в отношении питания и базовой медицинской помощи, качества воды и санитарии, а также в отношении доступа к электричеству и качеству электроснабжения. Одним из самых высоких показателей является доступ к базовым знаниям, уровень грамотности взрослого населения и качественное образование. Кроме того, Россия опережает другие страны по уровню доступности среднего специального образования.

Выделяют два основных подхода к измерению общественного благополучия:

Первый подход – информационная панель. Заключается в том, что все индикаторы благополучия представлены в виде набора для мониторинга. Рекомендуются использовать при измерении национального благополучия. Информационная панель затрудняет проведение межстрановых сравнений, не годится для оценки динамики благополучия и оставляет ВВП в качестве единственного доступного для оценки прогресса индикатора.

Второй подход – индекс. Заключается в построении индекса благополучия. Различают несколько вариантов индексов:

- индексы, корректирующие ВВП. При построении индекса скорректированного ВВП к национальному доходу добавляют или вычитают из него соответствующие факторы, которые влияют на благополучие;
- индексы, замещающие ВВП.

Выделяют следующие индексы, замещающие ВВП:

- индекс субъективного благополучия – строится на основе данных, полученных в результате опросов населения, и представляет собой одномерный или многомерный индекс;
- композитный индекс благополучия. При построении композитного индекса благополучия отдельные меры благополучия (это могут быть как объективные, так и субъективные меры) объединяют в единый сводный индекс.

За последние 5 лет Россия поднялась с 71 места на 62. На 2019 год лидером рейтинга стала Норвегия (см. таблицу 2).

Список литературы

1. Ерофеев, П. Ю. Особенности концепции устойчивого развития / Экономическое возрождение России. — 2007. — № 3(13). — С. 20-29.
2. Тарасова Н. П., член-корр. РАН, проф., Кручина Е. Б. Индексы и индикаторы устойчивого развития – С. 127-144.
3. Гуманитарные технологии. Аналитический портал – ISSN 2310-1792 – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://gtmarket.ru/research/social-progress-index/info> (Дата обращения 05.01.2020).
4. Porter M.E., Stern S., Green M. Social progress index 2019. The Social Progress Imperative – [Электронный ресурс] – Режим доступа. – URL: <https://www.socialprogress.org/> (Дата обращения 05.01.2020).

Таблица 2. Результаты исследования индикатора социального прогресса для различных стран и регионов за последние 5 лет [4].

2019 год		
Место	Страна	Индекс
1	Норвегия	90,95
2	Дания	90,09
3	Швейцария	89,89
62	Россия	69,71
80	Украина	66,97
149	Южный Судан	24,44
2015 год		
1	Норвегия	88,36
2	Швеция	88,06
3	Швейцария	87,97
62	Украина	65,69
71	Россия	63,64
133	Центрально-Африканская Республика	31,42

Результатом того, что Россия за последние 5 лет поднялась на 9 позиций выше в рейтинге социального прогресса мира, является улучшение показателей качества воды и санитарии, питания и базовой медицинской помощи. Облегчен доступ к базовым знаниям, повышен уровень грамотности населения и качество образования. В целом, индикатор социального прогресса обеспечивает первую конкретную основу для сравнительного анализа, а затем определение приоритетности программы действий, способствующей улучшению социальных и экономических показателей.

Таким образом, ключевые направления совершенствования социального развития России, на которых, в первую очередь, следует добиваться успеха в деле повышения качества жизни россиян: повышение уровня обеспечения физической безопасности, улучшение здоровья населения, в то числе и психического. Необходимо улучшение ситуации с загрязнением окружающей среды.

На сегодняшний день, индекс социального прогресса стал одним из важнейших составляющих устойчивого развития. Индикатор социального развития дает информацию для сравнений и содержит подробные профили каждого государства, включая детализацию итогового положения в рейтинге.

References

1. Erofeev, P. Yu. Features of the concept of sustainable development / Economic revival of Russia. - 2007. - № 3 (13). - pp. 20-29.
2. Tarasova N.P., corresponding member RAS, prof., Kruchina Ye. B. Indexes and indicators of sustainable development - pp. 127-144.
3. Humanitarian technology. Analytical portal - ISSN 2310-1792 - [Electronic resource] - Access mode. - URL: <https://gtmarket.ru/research/social-progress-index/info> (Date of access 05.01.2020).
4. Porter M.E., Stern S., Green M. Social progress index 2019. The Social Progress Imperative - [Electronic resource] - Access mode. - URL: <https://www.socialprogress.org/> (Date of access 05.01.2020).

УДК 504.4.054:628.19

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВАСТОПОЛЬСКОГО РЕГИОНА

Т.Ю. Хоменко¹, Т.В. Ляшко², Г.А. Сигора³ (к.б.н, доцент)

^{1,2,3} ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru

Аннотация

Качество водных ресурсов является одной из актуальных проблем общества, имеющей значение, как для экосистем, так и для обеспечения здоровья и уровня жизни населения. В статье рассмотрена проблема водообеспечения качественной питьевой водой населения Севастопольского региона. В связи с напряженной обстановкой в водохозяйственной отрасли, ориентация на внутренние возможности полуострова, а именно ресурсы подземных вод, является ведущим фактором стабильного развития региона на современном этапе.

Родниковые и подземные источники сегодня являются альтернативным источником питьевой воды, как для жителей города, так и его окрестностей. Качество подземных вод, включенных в государственный баланс, контролируется специальными службами и проходят санитарно-эпидемиологическую экспертизу. Однако, Севастопольский регион располагает значительным количеством подземных источников (родники, скважины, колодцы), расположенных как на территории города, так и в сельской местности. Одиночные родники часто эксплуатируются населением в качестве источников питьевого водоснабжения. Основной проблемой до последнего времени оставался тот факт, что уровень качества и степень загрязненности этих источников не изучались.

С 2019 года проводятся исследования по качеству и уровню загрязненности родниковых и подземных вод Севастопольского региона. Полученные результаты свидетельствуют о том, что качество воды в источниках, расположенных непосредственно в черте города, обусловлено антропогенной нагрузкой и вода непригодна для питьевых и сельскохозяйственных целей. Основными индикаторами загрязненности являются превышенное содержание нитрат-ионов, хлоридов, сульфатов и высоким показатель жесткости.

Ключевые слова: водоснабжение, подземные источники, родниковые воды, Севастопольский регион, химический анализ, качество, мониторинг, загрязнение, нитрат-ионы, информирование.

HYDROGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF GROUNDWATER QUALITY SEVASTOPOL REGION

T.Yu. Khomenko¹, T.V. Lyashko², G.A. Sigora³ (candidate, associate professor)

¹ Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru

Abstract

The quality of water resources is one of the urgent problems of society, of importance as ecosystems, and to ensure the health and living standards of the population. The article deals with the problem of water supply quality drinking water to the population of the Sevastopol region. In connection with the tense situation in the water sector, the focus on internal opportunities of the Peninsula, namely the groundwater resources, is the key factor of stable development of the region at the present stage.

Spring and groundwater sources today are an alternative source of drinking water for the residents of the city and its environs. Groundwater quality is included in the state balance is controlled by special services and pass sanitary-epidemiological expertise. However, the Sevastopol region has a significant number of groundwater sources (springs, wells) located on the territory of the city and in the countryside. Single springs are often exploited by the public as sources of drinking water. The main problem, until recently, remained the fact that the level of quality and the degree of contamination of these sources has not been studied.

From 2019, studies on the quality and level of contamination of spring and ground waters of the Sevastopol region. The results indicate that the water quality of the springs located directly within the city limits, due to anthropogenic pressures and water unsuitable for drinking and agricultural purposes. The main indicators of pollution are mostly due to increased content of nitrate ions, chlorides, sulfates and high stiffness.

Keywords: water supply, underground sources, spring waters, Sevastopol region, chemical analysis, quality, monitoring, pollution, nitrate ions, information.

1. Введение

В системе центрального водоснабжения Севастопольского региона задействованы: один поверхностный источник (Чернореченское водохранилище) – 75%; тринадцать подземных водозаборов – 25%. Также в эксплуатации находятся 3 гидроузла, 2 водопроводных очистных сооружения, 19 водопроводных узлов, 22 насосные станции, 17 подкачивающих насосных станций, 41 эксплуатационная скважина, 1138 км водопроводных сетей.

Ежесуточно в город подается в зависимости от времени года 140-185 тыс. м³ воды [1].

Для решения водохозяйственных проблем необходимо ориентироваться на внутренние возможности полуострова. Именно ресурсы подземных вод являются ведущим фактором стабильного развития города Севастополя на современном этапе [2].

Родниковые и подземные источники сегодня являются альтернативным источником питьевой воды, особенно для сельских жителей региона. Однако, главной проблемой остается тот факт, что уровень качества и степень загрязненности этих вод мало изучены, а как известно употребление недоброкачественной питьевой воды, ведет к возникновению заболеваний.

Вопросами о получении объективной, достоверной информации объектного (локального) мониторинга о качестве подземных вод Севастопольского региона с 2019 года занимается коллектив кафедры «Техносферной безопасности» Севастопольского государственного университета (СевГУ). Главной целью исследования является изучение и анализ качества подземных и родниковых вод Севастопольского региона, с последующим определением степени их загрязненности и уровнем экологической комфортности.

2. Основной материал

При изучении формирования гидрогеохимических аномалий подземных вод Севастопольского региона трудно разделить влияние на них природных и техногенных факторов.

Для исследования состояния и динамики изменения подземных и родниковых вод в естественных условиях в течение 2019 года проводились наблюдения порядка 70 источников Севастопольского региона, не разведанных и не учтенных в государственном балансе месторождений подземных вод, но активно эксплуатируемых местными жителями для хозяйственно-питьевых нужд. Из них: 42 – родники, 18 – скважины, 12 – колодцы. Исследования проводились по 23 химическим показателям качества, характеризующим их степень загрязненности. Также оценивались их геологические и гидрогеологические характеристики, дебит, наличие отложений, обустройство источника. На момент проведения исследований два источника были пересохшими. Процентное соотношение количества исследуемых источников по типам на территории Севастополя на 01.01.2020 г. представлено на рис. 1.

Полевые работы заключались в составлении плана местности, фотографировании, фиксировании координат для дальнейшего занесения данных на интерактивную экологическую карту. Для гидрологической оценки определялись следующие характеристики: характер выхода источника, дебит, температура, органолептические показатели (запах, вкус, цветность, мутность), некоторые обобщенные показатели, которые измерялись непосредственно у самого источника с помощью переносных портативных приборов (рН-метр, мутномер). Отмечались наличие каптажа, тип обустройства родника (например, железная труба, колодец и т.д.) и наличие свалок.

Ранжирование исследуемых источников по типам

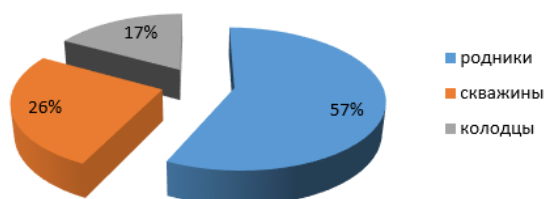


Рис. 1. Процентное соотношение количества исследуемых источников Севастопольского региона по типам (на 01.01.2020 год)

Карта расположения исследуемых источников представлена на рис. 2.

Химический анализ, с применением гравиметрических, титриметрических, спектрофотометрических, потенциометрических методов, проводился в специализированной лаборатории на базе кафедры «Техносферная безопасность» СевГУ.

Sevrodnik - Родники Севастополя

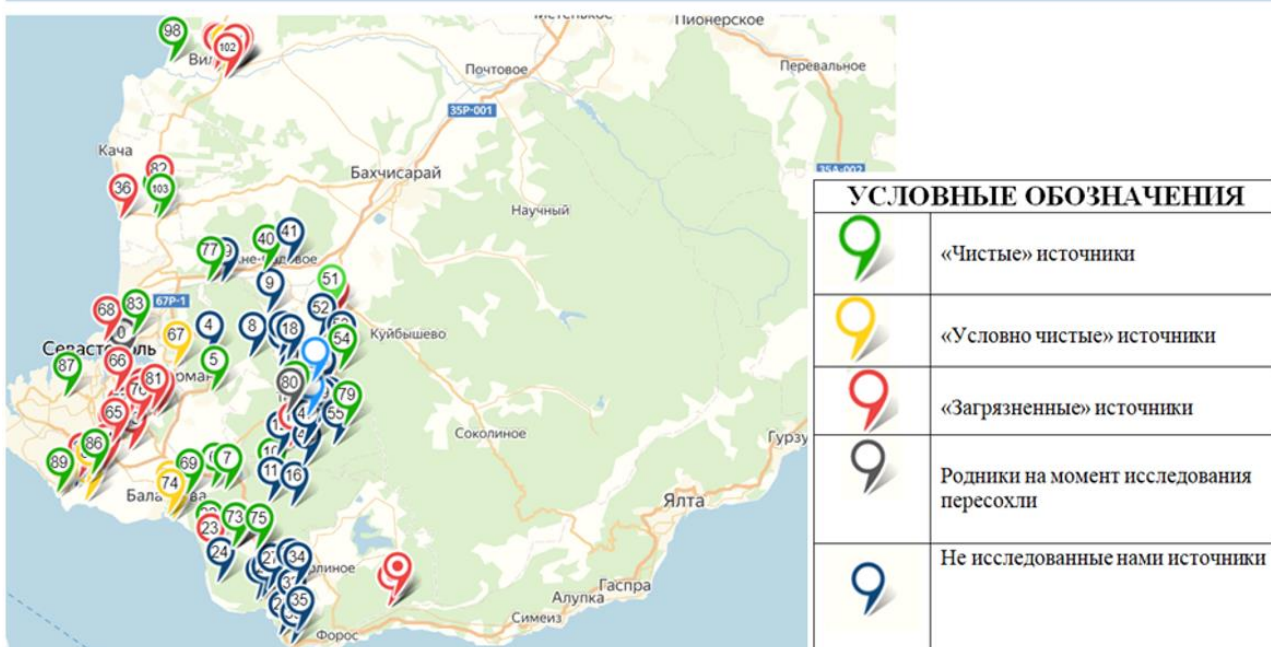


Рис. 2. Карта расположения исследуемых источников подземных и родниковых вод Севастопольского региона

Все исследуемые источники ранжированы, по разработанному ряду критериев, на три группы: «чистые» - 25 источников, «условно чистые» - 11 источников, «загрязненные» - 34 источников. К первой группе относятся родники, где превышения концентрации определяемых компонентов не зарегистрированы, измерения проб воды в таких родниках проводились одноразово. В «условно чистых» родниках, где концентрация веществ нестабильна и меняется в зависимости от сезонов, мониторинг проводился 1-2 раза в квартал. Регулярному контролю подлежали «загрязненные» источники, где

зафиксированы значительные превышения ПДК (предельно допустимой концентрации).

В зависимости от условий формирования (климатических, геолого-литологических и др.) подземные воды Севастопольского региона в большей мере относятся к магниевонатриевым, хлоридно-гидрокарбонатным кальциевым и натриево-кальциевым с величиной общей минерализации, варьирующей в интервале от 350 до 1500 мг/л (от умеренносоленых до соленых). Минерализация увеличивается с глубиной и с севера на юг. Дебит вод достигает 0,02-0,3 л/с (малодебетные).

Результаты исследований количественного состава подземных вод свидетельствуют о том, что воды исследуемых источников слабощелочные (среднее значение показателя pH – 7,3). Повышенное содержание магния и натрия в подземных водах Севастопольского региона определяет высокие показатели общей жесткости для отдельных источников (до 17 мг-экв/л). Содержание фтора практически повсеместно ниже нормы (не более 1 мг/л). Концентрация железа, сульфатов, нитритов, никеля, окисляемости перманганатной, гидрокарбонатов и общей щелочности не превышают установленных нормативов [3,4].

Проблемы качества подземных вод на территории Севастопольского региона связаны с достаточно сложной гидрогеохимической обстановкой, обусловленной природным несоответствием подземных вод нормативным требованиям по таким компонентам, как повышенное содержание марганца (в некоторых источниках) и магния (практически повсеместно). Количество содержания марганца в воде зависит от множества факторов, в числе которых даже время года. В холодные месяцы цифра оказывается чуть больше, и связано это с сезонным застоем вод. Тогда как весной и летом показатель резко уменьшается. Также, эксплуатируемые подземные источники и родники из-за своей незащищенности от поверхностного загрязнения и значительной техногенной нагрузки несут следы азотного и хлоридного загрязнения. Эти источники отнесены к группе «условно чистые» и «загрязненные» (рис. 2).

«Условно чистые» родники в большей мере сосредоточены в южной части Севастопольского региона. Показатели общей жесткости в исследуемых родниках этой группы варьируются от 6,4 до 10 мг-экв/л, что объясняется повышенным содержанием магния в воде. Превышение нормы по общей минерализации (1197 мг/л) и хлоридам (568 мг/л) зарегистрировано в роднике на мысе Фиолент (Царское село). В остальных источниках данные показатели находятся в пределах нормы и варьируются от 385 до 785 мг/л и от 40 до 250 мг/л соответственно. По катионному и анионному содержанию превышения зарегистрированы по магнию и нитрат-ионам. Среднее значение концентрации нитратов в родниках группы

«условно чистые» составляет 67,8 мг/л, что в 1,5 раза превышает ПДК (45 мг/л).

Источники, отнесенные к группе «загрязненные», как показывают результаты исследований, в большей мере сосредоточены в черте города и в крупных сёлах региона. Из перечня определяемых обобщённых показателей, в группе «загрязненные» выявлены значительные превышения общей жёсткости и общей минерализации, которые составляют от 6,95 до 17 мг-экв/л и от 500 до 1500 мг/л, соответственно. Связано это с повышенным содержанием катионов магния и натрия в воде. Родники группы «загрязненные» имеют гидрокарбонатно-хлоридный и магниевый-натриевый состав, за счёт доминирующего содержания ионов хлора, сульфатов, магния и натрия. Также зарегистрированы превышения по марганцу в скважинах на Северной стороне и в Байдарской долине – до 0,25 мг/л при норме 0,1 мг/л.

По содержанию нитрат-ионов в источниках, отнесенных к группе «загрязненные», превышение в среднем установлено в 3,5 - 5 раза.

В октябре 2019 года выявлены аномальные превышения содержания нитратов в 6 родниках – до 720 мг/л. Превышенные концентрации, в частности нитрат-ионов, в некоторых источниках объясняются тем, что за период с мая по октябрь в городе Севастополе преобладала сухая погода. Жидкие осадки летнего периода интенсивно расходуются на испарение. Подземные воды региона не обновлялись и не пополнялись естественными источниками (атмосферными осадками), что и привело к аномальному увеличению концентрации загрязняющих веществ (рис. 3).

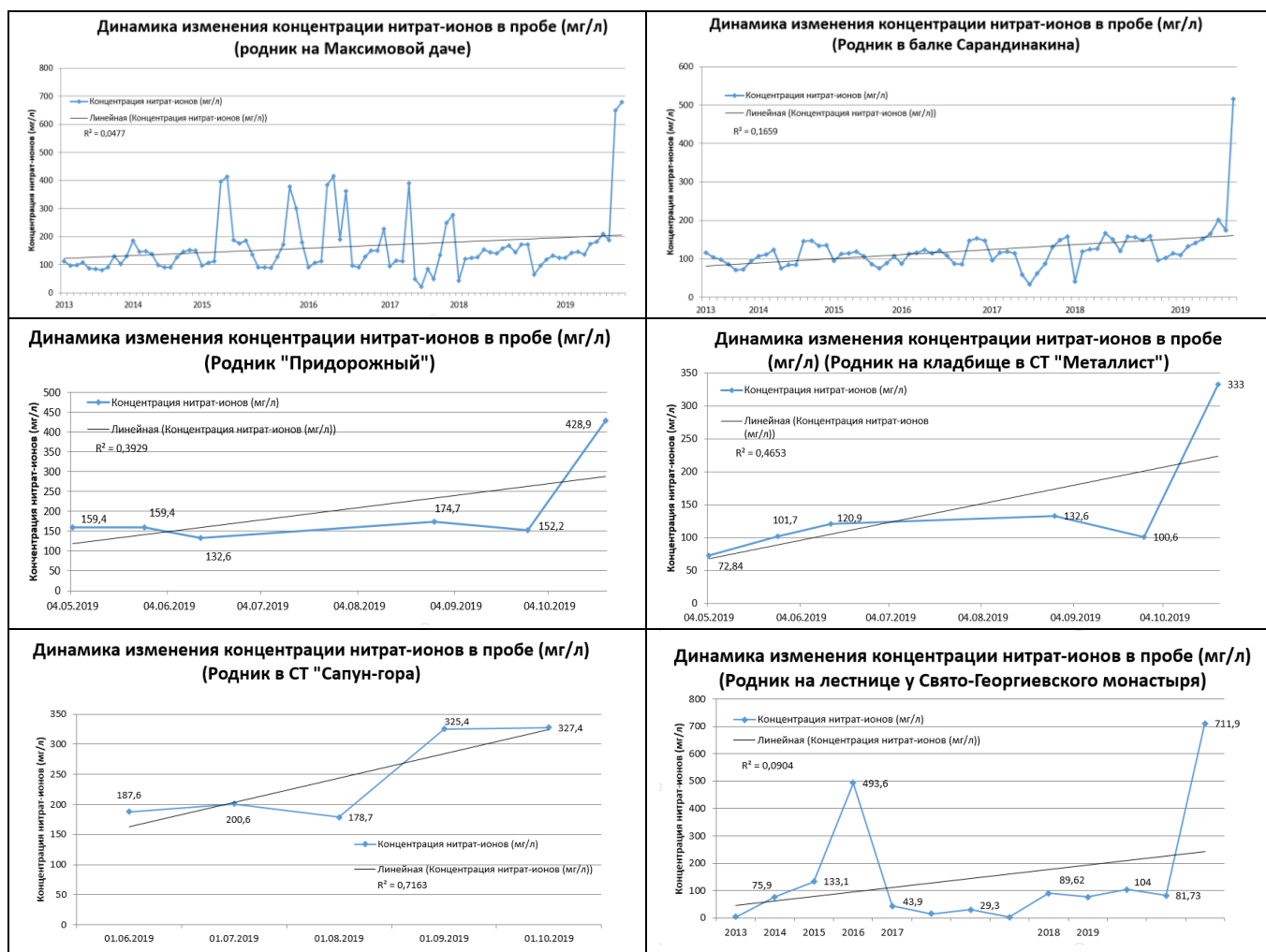


Рис. 3. Динамика изменения концентрации нитрат-ионов (мг/л) в родниках Севастопольского региона

Повышенное содержание хлоридов в родниковых водах Севастопольского региона зарегистрировано в источниках, расположенных у береговой линии (мыс Фиолент, Орловский пляж) и варьируется в пределах от 35,5 мг/л до 568 мг/л, при норме 350 мг/л. Характер гидрогеохимических аномалий указывает на подток морских вод в месте разгрузки подземных.

Многолетний мониторинг показывает на устойчивую тенденцию увеличения содержания загрязняющих компонентов в отдельных источниках Севастопольского региона [5,6].

3. Заключение

Степень загрязненности родников Севастопольского региона оценивалась по содержанию в них сульфатов, хлоридов и нитратов. Для более точной оценки качества родниковых и

подземных вод на 2020 год планируется увеличить перечень определяемых показателей: включить измерения концентраций ионов фосфата, меди, йода, сульфидов, хлора активного, аммония, свинца.

По результатам проведенных исследований установлено, что наиболее загрязненные источники региона, которые пользуются популярностью у местных жителей, сосредоточены непосредственно в черте города. В воде этих источников выявлены значительные превышения общей жёсткости и общей минерализации, повышенное содержание нитрат-ионов, хлоридов, сульфатов, магния.

«Исследование выполнено при поддержке РФФИ и г. Севастополя в рамках научного проекта №18-35-50004»

Список литературы

1. Постановление Правительства Севастополя от 21.11.2016 N 1112-ПП (ред. от 23.03.2018) "Об утверждении государственной программы города Севастополя "Развитие жилищно-коммунальной инфраструктуры города Севастополя на 2017 - 2022 годы"

2. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории города федерального значения Севастополь в 2018 г., 2019. – Вып. 1. – 129 с.
3. СанПиН 2.1.4.1175 – 02. Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 17.11.02. – М.: МинюстРФ, 2002. – 17 с.
4. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 26.09.01: взамен СанПиН 2.1.4.559-96. – М.: МинюстРФ, 2001. – 46 с.
5. Сигора Г.А. Изменение загрязненности нитрат-ионами родников города Севастополя / Г.А. Сигора, Т.В. Ляшко, Л.А. Ничкова, Т.Ю. Хоменко // Системы контроля окружающей среды. – 2018. – № 14 (34). – С. 150-156.
6. Сигора Г.А. Проблема исследования экологического состояния родников Севастопольского региона / Г.А. Сигора, Т.Ю. Хоменко, Т.В. Ляшко, Л.А. Ничкова // Экономика строительства и природопользования. – 2019. – № 1 (70). – С. 115-123.

References

1. Decree of the Government of Sevastopol dated November 21, 2016 N 1112-PP (as amended on March 23, 2018) "On approval of the state program of the city of Sevastopol" Development of housing and communal infrastructure of the city of Sevastopol for 2017 - 2022"
2. Newsletter on the status of the subsoil in the city of federal significance Sevastopol in 2018, 2019. - Issue. 1. - 129 s.
3. SanPiN 2.1.4.1175 - 02. Requirements for water quality of non-centralized water supply. Sanitary protection of sources: approved. The chief state sanitary doctor of the Russian Federation 11/17/02. - M.: Ministry of Justice of the Russian Federation, 2002. - 17 p.
4. SanPiN 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water systems: approved. The Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on September 26, 01: instead of SanPiN 2.1.4.559-96. - M.: Ministry of Justice of the Russian Federation, 2001. - 46 p.
5. Sigora G.A. Change in pollution with nitrate ions of the springs of the city of Sevastopol / G.A. Sigora, T.V. Lyashko, L.A. Nichkova, T.Yu. Khomenko // Environmental Monitoring Systems. - 2018. - No. 14 (34). - S. 150-156.
6. Sigora G.A. The problem of studying the ecological status of the springs of the Sevastopol region / G.A. Sigora, T.Yu. Khomenko, T.V. Lyashko, L.A. Nichkova // Economics of construction and environmental management. - 2019.- No. 1 (70). - S. 115-123.

УДК 433.06

РАЗДЕЛЬНЫЙ СБОР МУСОРА

В.С. Захарова¹, Л.А. Ничкова²

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: zvaleriya09@gmail.com

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053

Аннотация:

В статье представлен материал «Раздельный сбор мусора». Данный процесс позволяет подарить отходам «вторую жизнь», в большинстве случаев благодаря вторичному его использованию и переработке. Разделение мусора позволяет наиболее эффективно использовать ресурсы, возвращая в производственный оборот перерабатываемые виды отходов. Отделение пищевых и растительных отходов помогает предотвратить образование возгораемых газов на свалках. Следовательно, уменьшается вероятность пожаров на полигонах и вредное влияние на окружающую среду. Раздельный сбор мусора зависит от активности и сознательности участников процесса на всех этапах. Раздельный сбор мусора находится под ответственностью каждого отдельно взятого гражданина страны. Чтобы система выборочного сбора мусора приносила ожидаемые результаты, необходимо активное участие каждого, кто выбрасывает мусор. Без этого применение системы местными органами власти будет неэффективно. Внедрение системы раздельного сбора мусора также требует определенного времени и приложения усилий для обучения жителей. Люди, разделяя мусор, увеличивают долю перерабатываемых отходов, сокращают количество мусора на полигонах. При повсеместной организации раздельного сбора и переработки отходов выигрывают не только население и экосистема.

Ключевые слова: раздельный сбор мусора, мусор, вторичное использование, виды отходов, переработка, полигон, вредное влияние на окружающую среду

SEPARATE GARBAGE COLLECTION

Zakharova V.S.¹, Nichkova L.A.²

¹ FSAEI of HE "Sevastopol State University" st. Universitetskaya, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: zvaleriya09@gmail.com

² FSAEI of HE "Sevastopol State University" st. Universitetskaya, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,

Abstract

The article presents the material "Separate garbage collection". This process allows the waste to give a "second life", in most cases due to its secondary use and recycling. Separation of garbage allows the most efficient use of resources, returning recycled types of waste to production. The separation of food and vegetable waste helps prevent the formation of combustible gases in landfills. Consequently, the probability of fires at landfills and the harmful effects on the environment are reduced. Separate garbage collection depends on the activity and consciousness of the participants in the process at all stages. Separate collection of garbage is the responsibility of each individual citizen of the country. In order for the selective garbage collection system to produce the expected results, the active participation of everyone who discards the garbage is necessary. Without this, the application of the system by local authorities will be ineffective. Implementing a separate waste collection system also requires some time and effort to educate residents. People, sharing garbage, increase the share of recyclable waste, reduce the amount of garbage in landfills. With the universal organization of separate collection and processing of waste, not only the population and the ecosystem benefit.

Keywords: separate collection of garbage, garbage, recycling, types of waste, recycling, landfill, environmental impact

Разделение мусора представляет собой систему по переработке материалов, которые используют вторично. На специальных предприятиях из них изготавливают новый товар. Раздельный сбор отходов улучшает состояние водоемов, воздуха и почвы. Некоторые виды мусора разлагаются длительное время: пластик — от 100 до 200 лет, жестяные консервные банки — 500 лет.

Раздельный сбор мусора зависит от активности и сознательности участников процесса на всех этапах. Раздельный сбор мусора находится под ответственностью каждого отдельно взятого гражданина страны. Чтобы система выборочного сбора мусора приносила ожидаемые результаты, необходимо активное участие каждого, кто выбрасывает мусор. Без этого применение системы местными органами власти будет неэффективно. Внедрение системы раздельного сбора мусора также требует определенного времени и приложения усилий для обучения жителей.

1) С 2009 года в Воронежской области раздельный сбор мусора пропагандирует и организует частная компания «Картон Черноземье», занимающаяся приемом, переработкой и утилизацией вторсырья.

2) С 2010 года в Санкт-Петербурге действует система регулярного сбора опасных отходов, образующихся в быту, с помощью мобильных пунктов приема — «Экомобилей». Аналогичный проект запущен в 2012 году в Новосибирске и области.

3) В 2011 году в Санкт-Петербурге появилось общественное движение «Раздельный

сбор», активисты которого раз в месяц организуют акции по приему у населения перерабатываемых отходов: макулатуры, стекла, пластика.

4) В 2011 году Правительством Москвы реализуется политика по переходу к городской системе раздельного сбора и переработки отходов.

За год один человек производит 0,5 т отходов, 92-95 % из которых складываются на свалках, выделяя токсичные вещества десятки, а то и сотни лет. От 60 до 80 % мусора составляет вторсырье, возможное для дальнейшей переработки. Организуя раздельный сбор мусора дома и сдавая отходы по видам в пунктах приема, люди способствуют улучшению экологической обстановки, экономят энергоресурсы. Значение сортировки отходов состоит в сокращении доли складываемого мусора и уменьшении площади полигонов ТБО.

Наряду с обычными отходами, существуют опасные виды мусора, утилизация которых требует соблюдения специальных норм и правил. Чтобы минимизировать их негативное влияние на экологию планеты, надо отдельно складировать предметы, несущие потенциальную угрозу. В дальнейшем требуется сдача опасных отходов организациям, обеспечивающим их утилизацию без негативного влияния на окружающую среду.

Задачи, решаемые благодаря раздельному сбору отходов:

а) снижение потребления природных ресурсов из-за использования вторсырья;

b) сокращение объема складированного мусора на полигонах ТБО и несанкционированных свалках;

с) улучшение экологической обстановки;

d) сокращение расходов на повторную переработку.

В России только в конце 2017 года на законодательном уровне появилось понятие «раздельный сбор мусора»

Залогом успеха проводимой в Российской Федерации «мусорной реформы» является осознание выгоды производителями отходов (гражданами и юридическими лицами) и организациями, осуществляющими сбор, вывоз и переработку твердых коммунальных отходов (ТКО).

Пищевые остатки, бумага, листва и многое другое, разлагаясь, не оказывает негативного влияния на здоровье человека и окружающую экосистему. Но не все содержимое мусорных баков так безвредно.

Опасные отходы:

1) использованные батарейки, аккумуляторы;

2) автопокрышки;

3) ртутные градусники;

4) люминесцентные лампы;

5) лекарственные препараты;

6) компьютеры, вышедшие из строя;

7) химикаты, используемые в садоводстве;

8) лакокрасочные изделия;

9) полиэтилен.

Угроза этих отходов состоит в высокой токсичности. Попадая на свалку, они отравляют почву и водоемы в радиусе десятков километров вокруг. Маленькая батарейка, выброшенная на землю, способна загрязнить 400 л воды и 20 кв. м почвы. Если учесть, что в одной семье за год выходят из строя 8-9 батареек, можно оценить масштабы загрязнения окружающей среды без должной утилизации.

Пункты приема мусора все собранные отходы отправляют на заводы по переработке. Вторсырье используется для дальнейшего производства товаров. Для предприятий выгодно применение в производственном цикле вторичного сырья, так как оно снижает себестоимость продукции. При этом остаются нетронутыми природные ресурсы, например, лес при производстве бумаги.

Вторая жизнь пластиковых бутылок:

a) для изготовления футболки требуется 7 бутылок из пластика;

b) для куртки из флиса – 25;

с) создание пластикового стула возможно из 110 емкостей;

d) из 1200 пластиковых бутылок можно создать ковровое покрытие для комнаты.

Кроме этого, переработка позволяет сэкономить ресурсы. Ведь, производство еще одной банки, которая улетит в мусор, тоже имеет затраты: 10 деревьев может спасти 1 тонна собранной макулатуры; 20 литров воды будет сэкономлено благодаря переработке 1 кг макулатуры; 5 чашек чая можно вскипятить, сэкономив энергию на переработке 2 стеклянных бутылок; 3 часа работы телевизора может обеспечить энергия, сэкономленная благодаря переработке 1 алюминиевой банки.

В России более 4 млн. гектаров заняты легальными полигонами для складирования мусора. Это равно площади Пензенской, Московской области или Удмуртской республики, а также Нидерландов или Швейцарии. 35 тысяч несанкционированных свалок наносят непоправимый вред экологии страны, и количество стихийных мест хранения отходов постоянно увеличивается. Местным и региональным властям зачастую не под силу контролировать этот процесс.

Люди, разделяя мусор, увеличивают долю перерабатываемых отходов, сокращают количество мусора на полигонах.

При повсеместной организации раздельного сбора и переработки отходов выигрывают не только население и экосистема.

Польза для государства:

1) создание новых рабочих мест в процессе сортировки и переработки отходов, что снизит уровень безработицы и увеличит поступление в бюджет от уплаты НДФЛ;

2) экономия невозможных природных ресурсов – природного газа и нефти, идущих на создание синтетических волокон;

3) отсутствие потребности в выделении значительных территорий под полигоны ТБО, возможность использования земельных участков в целях развития социальной сферы или жилищного строительства.

Итогом работы станет привлекательный внешний вид и чистота населенных пунктов, стабильность экосистемы.

Проблемы сортировки:

a) Дефицит финансовых ресурсов для закупки уличных контейнеров, обеспечивающих сбор отходов по фракциям. Источники этой статьи расходов – платежи населения по заниженным тарифам и недостаточные средства субсидий из бюджета.

б) Нежелание людей сортировать отходы. Организация раздельного складирования мусора дома не всем под силу. Установить ведра, баки для раздельного сбора мусора в квартире сложнее, чем в частном доме, так как они занимают много места.

с) Трудность переработки. При складировании отходов в один бак требуется ручная сортировка мусора на мусоросортировочных станциях. Сложно найти сотрудников на «грязную» работу.

д) Дорогостоящее оборудование для сортировки и переработки отходов, стоимость которого варьируется от 10 до 50 тысяч долларов, в зависимости от назначения. Эти вложения долго окупаются, а иногда уходят в минус, поэтому невыгодны частному бизнесу.

Основная концепция понятна из формулировки – разделять мусор целесообразно на этапе его образования. Юридические и физические лица должны складировать отходы не в единый контейнер, а дифференцированно, в зависимости от материала, входящего в состав выбрасываемого продукта или упаковки.

Собранный мусор помещается в специальные контейнеры, согласно маркировке. Органические отходы собирают отдельно от сырья для переработки.

Далее при налаженной производственной переработке отходов создается вторсырье, готовое для последующего использования. Остальной мусор утилизируется.

Виды и цвета контейнеров для раздельного сбора

Урны красного, синего, зеленого, желтого цветов для раздельного сбора мусора устанавливаются с недавнего времени в торговых комплексах, на автобусных остановках, в офисах российских городов. Так как выбранная цветовая гамма не всегда соответствует европейским стандартам, лучше ориентироваться на условные обозначения и надписи на них.

Цветовые обозначения (Рис.1):

- а) желтый – пластик;
- б) зеленый – несортированные коммунальные отходы;
- с) оранжевый – опасные отходы;
- д) синий – макулатура;
- е) красный – стекло;
- ф) серый – электрооборудование, вышедшее из строя.



Рис.1. Цветовые обозначения

Небольшие рекомендации помогут значительно сократить количество образующегося в вашем доме мусора.

Практические советы:

1) при походах в магазин откажитесь от одноразовых пакетов – вам на помощь придет многоразовая экосумка или незаслуженно забытая сумка-авоська.

2) приобретайте товары в упаковке из перерабатываемого материала, старайтесь избегать пластика;

3) если тары из пластика не избежать, обращайте внимание на маркировку в треугольнике – выбирайте пластик, возможный для переработки;

4) старайтесь не приобретать товар, упакованный в несколько слоев.

В банкоматах и платежных терминалах распечатывать чеки следует только в случае крайней необходимости – историю операций можно посмотреть в личном кабинете плательщика

Вывод: Разделение мусора делается в целях избежания смешения разных видов отходов и загрязнения окружающей среды. Данный процесс позволяет подарить отходам «вторую жизнь», в большинстве случаев благодаря вторичному его использованию и переработке. Разделение мусора позволяет наиболее эффективно использовать ресурсы, возвращая в производственный оборот перерабатываемые виды отходов. Отделение пищевых и растительных отходов помогает предотвратить образование возгораемых газов на свалках. Следовательно, уменьшается вероятность пожаров на полигонах и вредное влияние на окружающую среду.

Раздельный сбор мусора зависит от активности и сознательности участников процесса на всех этапах. Раздельный сбор мусора находится под ответственностью каждого отдельно взятого гражданина страны. Чтобы система выборочного сбора мусора приносила ожидаемые результаты, необходимо активное участие каждого, кто выбрасывает мусор. Без этого применение системы местными органами власти будет неэффективно. Внедрение системы раздельного сбора мусора также требует определенного времени и приложения усилий для обучения жителей.

Список литературы

1. Дрейер А.А, Сачков А.Н, Никольский К.С. «Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка», 1997.
2. Бродский А.К. Общая экология: Учебник для студентов вузов. М.: Изд. Центр «Академия», 2006. - 256 с. Рекомендован Минобр. РФ в качестве учебника для бакалавров, магистров и студентов вузов.
3. Воронков Н.А. Экология: общая, социальная, прикладная. Учебник для студентов вузов. М.: Агар, 2006. Рекомендован Минобр. РФ в качестве учебника для студентов вузов.

References

1. Dreyer A.A., Sachkov A.N., Nikolsky K.S. "Solid industrial and household waste, its properties and processing", 1997.
2. Brodsky A.K. General ecology: Textbook for university students. M.: Publishing. Center "Academy", 2006. - 256 p. Recommended by the Ministry of Education. RF as a textbook for bachelors, masters and university students.
3. Voronkov N.A. Ecology: general, social, applied. Textbook for university students. M.: Agar, 2006. Recommended by the Ministry of Education. RF as a textbook for university students.

УДК 416.75

СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Ю.М.Черкасова¹, Л.А. Ничкова², В.С. Захарова³, А.С. Юрченко⁴

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33,

г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: nichkova@sevsu.ru,

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053

⁴ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053

Аннотация:

В тезисах представлен материал: «Способы утилизации и переработки бытовых отходов. Сегодня большое количество отходов применяется повторно в разных целях. Весь мусор, который сегодня утилизируют, делится на две основные группы: Твёрдые бытовые отходы (стекло, бумага, пластик, пищевые отходы). Производственные отходы (биологические, медицинские, радиоактивные, строительные отбросы, а также мусор транспортного комплекса). вторичным сырьём называются предметы, которые после использования по прямому назначению являются ресурсами, что пригодятся для дальнейшего применения. Чтобы получить новое изделие или сырьё, необходима переработка мусора. Хотя проблема имеет обширные масштабы, всё же решить или сократить её размеры возможно. Ситуация требует комплексного подхода со стороны общества и властей. Хорошо, если каждый подумает о том, что может предпринять лично он. Самое простое, что может сделать человек, это начать сортировать тот мусор, который генерирует он. Ведь тот, кто выбрасывает отходы, знает, где у него пластик, бумага, стекло или пищевые продукты. Неграмотный выбор мест захоронения отходов и отсутствие мер предосторожности позволяют всему этому попадать прямо в подземные воды.

Ключевые слова: вымывание веществ и загрязнение грунтовых вод; образование метана; просадка грунта

METHODS OF DISPOSAL AND RECYCLING OF HOUSEHOLD WASTE

Yu.M. Cherkasova¹, L.A. Nichkova², V.S. Zakharova³, A. Yurchenko⁴

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053

²FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: nichkova@sevsu.ru

³FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053

⁴FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053

Abstract:

The abstract presents the material: "Methods for the disposal and recycling of household waste. Today, a large amount of waste is reused for various purposes. All rubbish that is being disposed of today is divided into two main groups: municipal solid waste (glass, paper, plastic, food waste). Industrial waste (biological, medical, radioactive, construction waste, as well as the garbage of the transport complex). Secondary raw materials are objects that, after their intended use, are resources that will be useful for further use. Garbage processing is necessary to get a new product or raw material. Although the problem is widespread, it is possible to solve or reduce its size. The situation requires an integrated approach on the part of society and the authorities. Well, if everyone thinks about what he personally can do. The simplest thing a person can do is start sorting the garbage that he generates. After all, the one who throws the waste knows where he has plastic, paper, glass or foodstuffs. An illiterate choice of landfills and the lack of precautions allow this to go directly into groundwater.

Keywords: leaching of substances and groundwater pollution; methane formation; soil subsidence

Исследования показывают, что состав городских твердых бытовых отходов примерно таков: бумага - 31%, пищевые отходы - 21%, стекло, керамика - 12%, железо и его сплавы - 5%, пластмассы - 15%, древесина - 10%, резина и кожа - 3%. 90 % выбрасываемого мусора можно вторично переработать.

В качестве альтернативы чаще всего используются захоронения (могильники). При этом мусор просто зарывают в землю или вываливают на нее и засыпают землей.

Проблемы, связанные с захоронением отходов: вымывание веществ и загрязнение грунтовых вод; образование метана; просадка грунта.

Самая серьезная проблема - это загрязнение грунтовых вод. По мере просачивания воды сквозь любой материал в ней обычно растворяются и с ней выносятся различные химические вещества. Такая вода с растворенными в ней загрязнителями называется фильтратом. Когда она проходит через необработанные отходы, образуется особенно ядовитый фильтрат, в котором наряду с остатками разлагающейся органики присутствуют железо, ртуть, свинец, цинк и другие металлы из ржавеющих консервных банок, разряженных батареек и других электроприборов вместе с пестицидами, моющими средствами и т.д. Неграмотный выбор мест захоронения отходов и отсутствие мер предосторожности позволяют всему этому попадать прямо в подземные воды.

Вторая проблема - это образование метана. У захороненного мусора нет доступа кислороду. Поэтому его разложение идет анаэробно, а один из продуктов его - биогаз, на 2/3 состоящий из легковоспламеняющегося метана. Образуюсь в толще захороненных отходов, он может распространяться в земле горизонтально, проникать в подвалы зданий, накапливаться там и взрываться при зажигании.

По мере разложения отходы проседают. Неизбежность этого процесса очевидна, поэтому зданий на местах свалок не строят. На игровых площадках просадка грунта тоже весьма нежела-

тельна, поскольку образуются неглубокие понижения, в них скапливается вода, а весь участок превращается в болото.

Под утилизацией отходов (от лат. utilis — полезный) понимается следующее[2]:

использование отходов на различных стадиях их технологического цикла

обеспечение вторичного использования или переработки отходов и отслуживших свой срок или забракованных изделий.

Сегодня большое количество отходов применяется повторно в разных целях. Весь мусор, который сегодня утилизируют, делится на две основные группы: Твёрдые бытовые отходы (стекло, бумага, пластик, пищевые отходы). Производственные отходы (биологические, медицинские, радиоактивные, строительные отбросы, а также мусор транспортного комплекса).

Вторичные материалы. Обычно все отходы, которые остаются после производства и деятельности человека, именуют «вторсырьём». Но это представление не совсем верное. Дело в том, что не все отбросы целесообразно использовать вторично или отправлять на другие нужды. Есть и такая группа мусора, которая применяется вторично только лишь в качестве источника энергии (после специальной обработки), поэтому также не причисляется к вторичному сырью. Те вещества, что после переработки выдают энергию, именуются «вторичным энергетическим сырьём». К этой группе можно отнести только те материалы, которые после определённого воздействия могут стать пригодными в народном хозяйстве. Наглядным примером является жестяная банка из-под консервов. Она уже не может использоваться для хранения пищевых продуктов, но после переплавки из неё изготавливают новую ёмкость для пищи или другие металлические предметы. Становится очевидным: вторичным сырьём называются предметы, которые после использования по прямому назначению являются ресурсами, что пригодятся для дальнейшего

применения. Чтобы получить новое изделие или сырьё, необходима переработка мусора.

Термическая утилизация Под термической переработкой подразумевается сжигание твёрдого бытового мусора. Процесс применяется для сокращения количества органических веществ и их обезвреживания. Далее, полученные остатки подвергаются захоронению или утилизации. После горения мусор значительно сокращается в объёме, все бактерии истребляются, а полученная энергия способна генерировать электроэнергию или обогревать воду для отопительной системы. Подобные заводы обычно устраивают неподалёку от крупных городских свалок, чтобы переработка твёрдых отходов проходила конвейером. Там же неподалёку находятся полигоны, предназначенные для захоронения переработанных остатков. Можно отметить, что сжигание отходов делится на прямое и пиролизное. При первом способе можно получить лишь тепловую энергию. Одновременно пиролизное сжигание создаёт возможность добыть жидкостное и газовое топливо. Но независимо от способа термической утилизации, в атмосферу во время горения выделяются губительные вещества. Это вредит нашей экологии. Некоторые устанавливают фильтры. Их цель – задерживать твёрдые летучие вещества. Но как показывает практика, даже они не способны остановить загрязнение.

Если говорить о технологии переработки отходов медицинского характера, в России уже установлено несколько специальных печей. Они оборудованы приборами газоочистки. Кроме этого, в стране появились микроволновая, паротепловая обработки и автоклавирование. Всё это является альтернативными методами сжигания медицинского и другого подходящего мусора. Остатки, содержащие ртуть, обрабатываются особым термохимическим или гидрометаллургическим способами.

Плазменная утилизация Этот метод на данный момент является наиболее современным способом утилизации. Его действие проходит в два этапа: Отходы измельчаются и сдавливаются под прессом. Если есть необходимость, мусор просушивается, чтобы добиться гранулированной структуры. Полученные вещества отправ-

ляются в реактор. Там плазменный поток передаёт им столько энергии, чтобы они приобрели газообразное состояние. Избежать возгорания получается при помощи специального окислителя. Полученный газ по составу схож с обычным природным, но он содержит меньше энергии. Готовый продукт закупоривают в ёмкости и отправляют для последующего использования. Такой газ подходит для турбин, котлов, дизель-генераторов. Подобная переработка отходов производства и бытового мусора уже некоторое время применяется в Канаде и США. В этих странах остатки жизнедеятельности человека эффективно утилизируются, а конечный продукт используется на благо в качестве топлива. На западе уже готовятся внедрить эту технологию в ещё большем масштабе. Но поскольку подобное оборудование достаточно дорогостоящее, его не могут приобрести страны СНГ.

Конечно, чтобы переработка твёрдых отходов и опасного для здоровья мусора проходила на высшем уровне, требуется немало финансовых вложений. Также в этом должны быть заинтересованы политические круги. Но на данный момент нам приходится обходиться устаревшей техникой для утилизации. По мнению властей, существующие заводы справляются с проблемой, поэтому нет надобности их реконструировать и переоборудовать. Толчком к этому может послужить лишь экологическая катастрофа. Хотя проблема имеет обширные масштабы, всё же решить или сократить её размеры возможно. Ситуация требует комплексного подхода со стороны общества и властей. Хорошо, если каждый подумает о том, что может предпринять лично он. Самое простое, что может сделать человек, это начать сортировать тот мусор, который генерирует он. Ведь тот, кто выбрасывает отходы, знает, где у него пластик, бумага, стекло или пищевые продукты. Если в привычку войдёт сортировать остатки жизнедеятельности, то такой мусор станет проще и быстрее перерабатывать. Человеку необходимо регулярно напоминать о важности правильной утилизации отходов, их сортировке и бережном отношении к природным ресурсам, которыми владеет он. Если же власти не будут принимать меры, проводить мотивирующие кампании, простого энтузиазма окажется недостаточно. Поэтому проблема утилизации мусора так и останется в нашей стране на «первобытном» уровне.

Список литературы

1. Бродский А.К. Экология: учебник. М.: КНОРУС, 2012.
2. Передельский Л.В. Экология и охрана окружающей среды: учебник. М.: КНОРУС, 2013.

References

1. Brodsky A.K. Ecology: a textbook. M.: KNORUS, 2012.
2. Peredelsky L. V. Ecology and environmental protection: a textbook. M.: KNORUS, 2013.

РАЗДЕЛ 4. МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 643.01

КОНТРОЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ЭЛЕКТРОЛАБОРАТОРИИ

Т.В. Юдина¹ студент, М.Н. Белая², канд. техн. наук

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053
e-mail: Tanyaafine@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053
e-mail: belaya_079@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрено назначение электротехнической лаборатории, целью ее создания является проведение измерений и испытаний электрического оборудования на любом предприятии, где оно находится. Для осуществления своей деятельности лаборатории необходимо пройти аккредитацию в соответствии с законодательством Российской Федерации. При этом устанавливается ее компетентность при оценке готовности к проведению испытаний и подтверждается способность получать обоснованные результаты. Рассмотрен нормативный документ Требования к электролаборатории, в котором четко сформулировано, что лаборатория должна иметь поверенное, откалиброванное и аттестованное в установленном порядке оборудование, квалифицированный персонал, обладающий знаниями необходимых нормативно-технических документов, и другие требования к деятельности лаборатории.

В статье представлена обобщенная организационная структура такой лаборатории. Рассмотрена необходимость проведения контроля за деятельностью лаборатории, а также определена суть разработки и внедрения системы менеджмента качества в соответствии с областью своей деятельности, которая заключается в управлении качеством работ, выполняющиеся лабораторией, и постоянном его улучшении. Наличие системы менеджмента качества для испытательных лабораторий имеет не только рекомендательный характер, но и обязательный, так как требуется при получении аккредитации в национальной системе аккредитации Российской Федерации.

Ключевые слова: электролаборатория, измерения, испытания, электрооборудование, контроль, качество, система менеджмента качества, проверка, требования, аудит, соответствие.

CONTROL FUNCTIONS OF THE ELECTRIC LABORATORY

T.V. Yudina¹ student, M.N. Belaya², cand. sc. tech

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053
e-mail: Tanyaafine@mail.ru

²FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053
e-mail: belaya_079@mail.ru

Abstract:

The purpose of the electrotechnical laboratory is considered in the article, the purpose of its creation is to conduct measurements and tests of electrical equipment at any enterprise where it is located. To carry out its activities, the laboratory must be accredited in accordance with the legislation of the Russian Federation. At the same time, its competence is established in assessing the readiness for testing and the ability to obtain reasonable results is confirmed. The regulatory document Requirements for the electric laboratory was examined, which clearly stated that the laboratory should have attorney, calibrated and certified in the prescribed manner, qualified personnel with knowledge of the necessary regulatory and technical documents, and other requirements for the laboratory.

The article presents a generalized organizational structure of such a laboratory. The need for monitoring the activities of the laboratory is considered, and the essence of the development and implementation of a quality management system in accordance with the scope of its activity, which is to manage the quality of work performed by the laboratory and its continuous improvement, is determined. The presence of a quality management system for testing la-

laboratories is not only advisory in nature, but also mandatory, as it is required when obtaining accreditation in the national accreditation system of the Russian Federation.

Keywords: electric laboratory, measurements, tests, electrical equipment, quality control, quality management system, verification, requirements, audit, compliance

Любая электроустановка должна проходить контроль параметров эксплуатационной безопасности. Контроль обязан осуществляться не визуально, а с использованием целого комплекса контрольно-измерительных приборов и инструментов, т.е. с помощью специализированной электротехнической лаборатории. Любая организация, проводящая испытания электрооборудования и электроустановок с выдачей соответствующих протоколов, обязана пройти аккредитацию в Ростехнадзоре и получить свидетельство на осуществление своей деятельности.

В соответствии с Требованиями к электролабораториям и лабораториям теплотехнических измерений от 27.01.2010 N 34 лаборатория или организация, в состав которой она входит, должна иметь статус юридического лица и организационную форму, соответствующую всем требованиям действующего законодательства. Как и любая лаборатория электролаборатория проходит аттестацию в целях установления ее компетентности при оценке готовности к проведению испытаний и подтверждения, что она способна получать технически обоснованные результаты. Без этого запрещено производить измерения параметров или профилактические испытания с оформлением протоколов [1].

В процессе монтажа, наладки, ввода в эксплуатацию, в период эксплуатации и ремонта электроустановок и средств защиты, используемых в электроустановках, выполняются измерения и испытания. Измерения и испытания, целью которых является проверка качества электрооборудования и его монтажа, должны производиться квалифицированным персоналом электротехнических лабораторий с применением приборов. Главная цель лаборатории - проведение качественной диагностики электрооборудования и прогнозирование рабочего ресурса основных элементов сети, поэтому все средства испытаний и их программное обеспечение, относящиеся к средствам измерения (измерительные приборы, преобразователи, стандартные образцы), обязательно должны быть поверены, калиброваны или аттестованы в установленном порядке.

Электроизмерительные лаборатории проводят обследование электроустановок, измерения и испытания в соответствии с разработанными методиками и заводскими инструкциями, Правилами устройства электроустановок, Межотрасле-

выми правилами по охране труда, а также руководствоваться действующим законодательством, организационно-методическими документами Росстандарта, директивными документами Ростехнадзора. Программы, стандарт и методики проведения испытаний и измерений согласовываются с органами энергетического надзора. Согласно ГОСТ Р 50571.16 для проведения испытаний должна быть представлена необходимая проектная документация на испытываемую электроустановку и необходимая производственная документация, например, сертификаты, инструкции, электрические схемы.

Существуют три основных вида электротехнических измерений:

- приемо-сдаточные испытания;
- профилактические испытания;
- периодические испытания.

Если в результате испытания выявляется какое-либо нарушение или несоответствие требованиям стандартов и другим нормативным документам, то испытание, на результаты которого возможно влияет выявленный дефект, проводится повторно, при условии устранения дефекта. По результатам испытаний составляется протокол испытаний, который должен содержать достоверные, объективные и точные результаты испытаний, данные об условиях испытаний и погрешности измерений, заключение о соответствии или несоответствии испытываемой электроустановки требованиям нормативных документов. В протоколе четко и недвусмысленно представляются результаты испытаний, без каких либо пометок, советов по устранению недостатков и других рекомендаций [2].

Работу по испытаниям и измерениям проводит персонал, специально подготовленный и руководствующийся Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, Правилами эксплуатации электроустановок потребителей, Межотраслевыми Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, а если лаборатория входит в состав предприятия, то еще в соответствии с распоряжениями и приказами Генерального директора. Персонал должен пройти проверку знаний и получить соответствующую группу по электробезопасности, а также право на проведение специальных работ.

Все сотрудники лаборатории обязаны иметь должностные инструкции, утвержденные руководителем лаборатории, которые определяют их служебные обязанности и связанную с ними ответственность. В системе менеджмента качества лаборатории должны быть предусмотрены процедуры осуществления контроля за привлекаемыми специалистами, а также обеспечено обучение и повышение квалификации персонала, должен вестись постоянный учет сведений о их квалификации, обучении и профессиональном опыте.

Организационная структура лаборатории характеризуется персоналом, который состоит из:

- руководителя лаборатории, отвечающего в полном объеме за организацию работ по испытаниям;
- персонал, имеющий соответствующую профессиональную подготовку, теоретические знания и практический опыт, необходимые для выполнения работ по испытаниям (измерениям). В него входит лицо, ответственное за систему качества испытаний и измерений, лицо, ответственное за метрологическое обеспечение, ремонт, поверку, аттестацию и обслуживание испытательного оборудования и средств измерений, ответственное лицо за делопроизводство, архив и фонд нормативных документов.

Персонал должен действовать в соответствии с Правилами по охране труда при эксплуатации электроустановок, разработанными группой Объединения работодателей электроэнергетики совместно со специалистами и экспертами крупнейших организаций, таких как, ОАО «Россети», «Всероссийский Электропрофсоюз». Электротехнический персонал обязан знать требования Правил и также должен пройти проверку знаний других нормативно-технических документов. Обеспечением безопасных условий и охраны труда занимается руководитель лаборатории. Для этого разрабатываются инструкции с требованиями по охране труда, которые в виде распоряжений и указаний доводятся до работников [3]. Персонал также вправе отказаться от работы, если она связана с нарушением правил техники безопасности или может привести к аварии или порче оборудования.

За выполнением работ по проведению испытаний и измерений осуществляется внутренний контроль. Под этим подразумевается проверка осведомленности персонала о наличии и содержании нормативно-технической документации, проверка наличия и состояния средств

измерений и связанных с ними документов, таких как паспорта, аттестаты, свидетельства о поверке, проверка помещений и архивов документов. Как результат внутреннего контроля разрабатываются корректирующие мероприятия. Также к внутренней системе контроля за качеством выполняемых электротехнической лабораторией работ относится система менеджмента качества (СМК).

Если электролаборатория подтверждает свою компетентность на право проведения работ по оценке соответствия в области промышленной безопасности, то она должна иметь СМК. Главной ее целью является обеспечение полноты и правильности проведения испытаний и измерений электрооборудования и электроустановок, гарантия достоверности, объективности, надежности, требуемой точности результатов испытаний и измерений и своевременность их предоставления. Регулировка системы менеджмента качества выражается в виде нормативных документов, в Российской Федерации это национальные стандарты. Элементы системы менеджмента качества указываются в «Положении об электролаборатории». СМК должна быть построена на базе требований международного стандарта ISO 9001 [4]. На основании требований этого стандарта можно сформулировать состав СМК электролаборатории:

- перечень общих процедур для обеспечения качества деятельности лаборатории;
- задачи и функции каждого сотрудника, необходимые для обеспечения качества работы лаборатории;
- процедуры для обеспечения качества проведения каждого типа испытаний;
- методы контроля за качеством выполнения испытаний и измерений;
- способы организации обратной связи, разработки и проведения корректирующих мероприятий при обнаружении неточности и недостоверности результатов испытаний, при нарушении требований нормативной документации;
- процедуры по рассмотрению жалоб и претензий.

Каждая лаборатория должна иметь руководство по качеству. Его главная цель – это постоянное повышение технического и организационного уровня проводимых испытаний, получение воспроизводимых, достоверных и надежных результатов. Руководитель несёт ответственность за наличие, сохранность и состояние Руководства по качеству, а также форми-

рует политику в области управления качеством испытаний и измерений. Он также несёт персональную ответственность за функционирование системы качества в полном объёме, а также постоянному ее улучшению.

В руководстве по качеству должны быть определены функции и ответственность технического руководителя и менеджера по качеству, их ответственность за обеспечение соответствия ГОСТ ИСО/МЭК 17025.

Лаборатория периодически должна проводить внутренние плановые проверки системы менеджмента качества для подтверждения ее эффективности и соответствия требованиям нормативной документации. Проверки осуществляет руководитель лаборатории или специально уполномоченный сотрудник, а результаты оформляются соответствующим документом.

Данная самооценка даст общее представление о деятельности лаборатории и степени развития системы менеджмента качества, поможет выявить области, нуждающиеся в улучшении, и расставить приоритеты. Ведется учет всех несоответствий, выявленных при проведении внутренней проверки, разрабатываются необходимые корректирующие действия, а после, ведется контроль их исполнения. При осуществлении изменений в системе менеджмента руководство должно обеспечить полноту и целостность системы менеджмента [5]. Внедрение СМК не гарантирует безошибочную

работу лаборатории, но помогает достигнуть стабильных и повторяемых результатов работы.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001 в организациях, которые внедряют СМК, должны регулярно проводиться внутренние аудиты качества. Он предназначен для оценки соответствия системы качества в целом или ее отдельных частей установленным требованиям и эффективности функционирования системы. Опросный лист с перечнем вопросов является необходимой документацией для проведения аудита, он и рассматривается в качестве официального документа аудиторской проверки.

Целью лаборатории является не только соответствие требованиям документов, но и удовлетворение требований непосредственно заказчика.

Работа, проводимая лабораторией, акты и протоколы, составленные по результатам измерений и испытаний отмечаются в отчете. Периодичность проведения обследований электролабораториями, устанавливается положениями Правил эксплуатации электроустановок, Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей, стандартами, межотраслевыми правилами по охране.

В зависимости от того какой статус имеет лаборатория, является ли она независимой или входит в состав другого предприятия, требования к ней могут ужесточаться.

Список литературы:

1. Требования к электролабораториям и лабораториям теплотехнических измерений 34-БНС СДАЭ-04-2010 [Электронный ресурс] Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/902356507>
2. ГОСТ Р 50571.16-2007 (МЭК 60364-6:2006) Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания [Электронный ресурс] Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200067415>
3. Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок (с изменениями на 15 ноября 2018 года) [Электронный ресурс] Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/499037306>
4. ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Системы менеджмента качества. Требования. [Электронный ресурс] Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200124394>
5. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. [Электронный ресурс] Режим доступа <http://docs.cntd.ru/document/1200166732>

References

1. Requirements for electric laboratories and laboratories of heat engineering measurements 34-BNS SDAE-04-2010 [Electronic resource] Access mode <http://docs.cntd.ru/document/902356507>
2. GOST R 50571.16-2007 (IEC 60364-6: 2006) Low-voltage electrical installations. Part 6. Tests [Electronic resource] Access mode <http://docs.cntd.ru/document/1200067415>
3. On approval of the Rules on labor protection during the operation of electrical installations (as amended on November 15, 2018) [Electronic resource] Access mode <http://docs.cntd.ru/document/499037306>
4. GOST R ISO 9001-2015 Quality Management Systems. Requirements. [Electronic resource] Access mode <http://docs.cntd.ru/document/1200124394>
5. GOST ISO / IEC 17025-2019 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. [Electronic resource] Access mode <http://docs.cntd.ru/document/1200166732>.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНЫХ УСЛУГ

И.В. Гутовская¹, студент, М.Н. Белая², канд. техн. наук

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053
e-mail: inna890@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053
e-mail: belaya_079@mail.ru

Аннотация

В статье представлено описание иерархической структуры качества жилищно-коммунальных услуг. С учетом применения принципов квалиметрии: «показатель любого уровня обобщения, кроме самого нижнего (исходного) уровня, предопределяется соответствующими показателями предшествующего иерархического уровня» и «качество целого объекта (в частности, продукции или процесса) обусловлено качеством его составных частей», совокупность показателей качества жилищно-коммунальных услуг представлена в виде четырех уровней оценки качества жилищно-коммунальных услуг. Нижний уровень номенклатуры показателей качества представляется в виде единичных свойств услуг, характеризующих единичные показатели качества жилищно-коммунальных услуг. Совокупность единичных показателей качества представляется в виде групповых показателей качества, а совокупность групповых показателей качества – в виде комплексных показателей качества. Верхний уровень номенклатуры показателей качества в целом характеризует качество жилищно-коммунальных услуг, то есть совокупность всех характеристик, с помощью которых могут быть удовлетворены и обычно удовлетворяются соответствующие потребности людей. Для получения количественной оценки качества в работе представлены функциональные зависимости показателей качества.

Ключевые слова: качество, жилищно-коммунальные услуги, показатели качества, единичные показатели качества, групповые показатели качества, комплексные показатели качества, обобщенный показатель качества, номенклатура показателей качества

IMPROVING THE RANGE OF QUALITY INDICATORS FOR HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

I.V. Gutovvskaya¹, student, M.N. Belaya², cand. sc. tech

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian
Federation, 299053 e-mail: inna890@mail.ru

²FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian
Federation, 299053 e-mail: belaya_079@mail.ru

Abstract:

The article describes the hierarchical structure of the quality of housing and communal services. Taking into account the application of the principles of qualimetry: “an indicator of any generalization level, except the lowest (initial) level, is predetermined by the corresponding indicators of the previous hierarchical level” and “the quality of the whole object (in particular, the product or process) is determined by the quality of its components”, a set of quality indicators housing and communal services is presented in the form of four levels of quality assessment of housing and communal services. The lower level of the range of quality indicators is presented in the form of individual properties of services, characterizing individual quality indicators of housing and communal services. The set of single quality indicators is presented in the form of group quality indicators, and the set of group quality indicators - in the form of complex quality indicators. The upper level of the nomenclature of quality indicators generally characterizes the quality of housing and communal services, that is, the totality of all the characteristics by which the corresponding needs of people can be satisfied and usually satisfied. To obtain a quantitative assessment of quality, the paper presents the functional dependencies of quality indicators.

Keywords: quality, housing and communal services, quality indicators, individual quality indicators, group quality indicators, comprehensive quality indicators, generalized quality indicator, nomenclature of quality indicators

Жилищно-коммунальные услуги (ЖКУ) направлены на удовлетворение материально-бытовых потребностей граждан и вносят значительный вклад в формирование качества жизни населения. С целью определения удовлетворения потребностей граждан ЖКУ целесообразно проводить оценку уровня качества ЖКУ.

Для оценки уровня качества ЖКУ целесообразно определить номенклатуру показателей качества [1, 2].

Одним из самых применяемых методов построения номенклатуры показателей качества является иерархический метод, направленный на последовательное распределение показателей качества.

В соответствии с принципами квалиметрии [3, 4], при построении номенклатуры показателей качества, в зависимости от

характеризуемых свойств, показатели качества можно разделить на:

- единичные- характеризующие одно из свойств услуг;
- групповые – характеризующие «родственные» свойства;
- комплексные – характеризующие разнородные свойства;
- обобщенный – характеризующий качество услуг.

На рис. 1 - 4 представлены ветви дерева-свойств качества ЖКУ.

В таблицах 1 – 3 представлены иерархические ступени номенклатуры показателей качества ЖКУ.

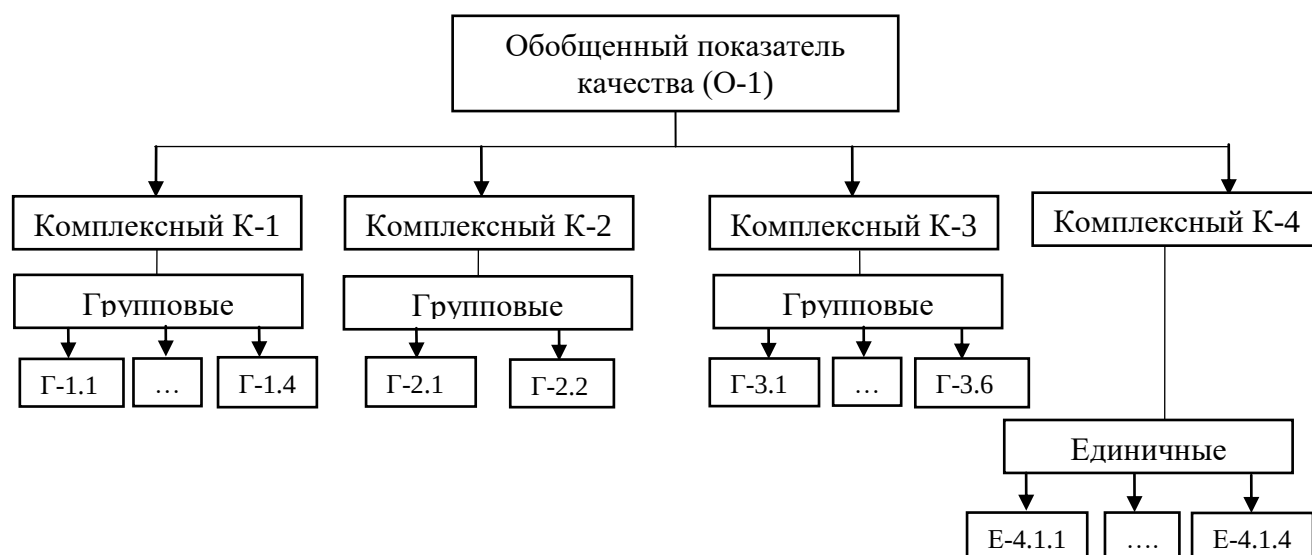


Рис. 1. Основная «ветвь дерева-свойств» качества ЖКУ

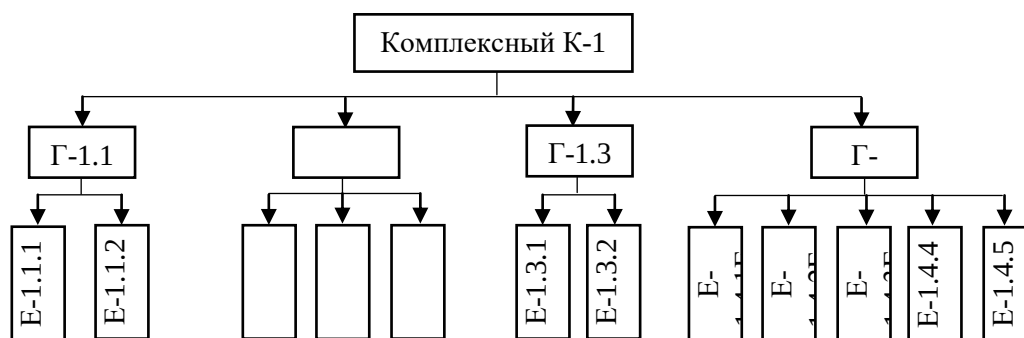


Рис. 2. «Ветвь дерева-свойств» комплексного показателя качества (К-1) «Критерии для оценки качества информации, предоставляемой управляющей организацией потребителям»

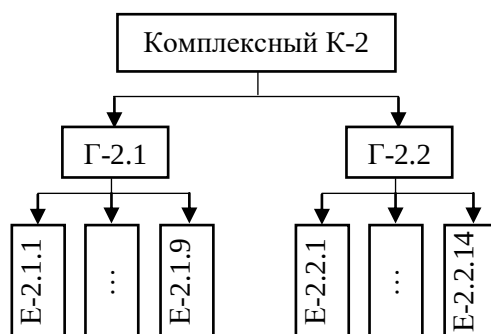


Рис. 3. «Ветвь дерева-свойств» комплексного показателя качества (К-2) «Критерии оценки услуг и работ управляющей организации непосредственно потребителями (советами МКД, правлениями ТСЖ)»

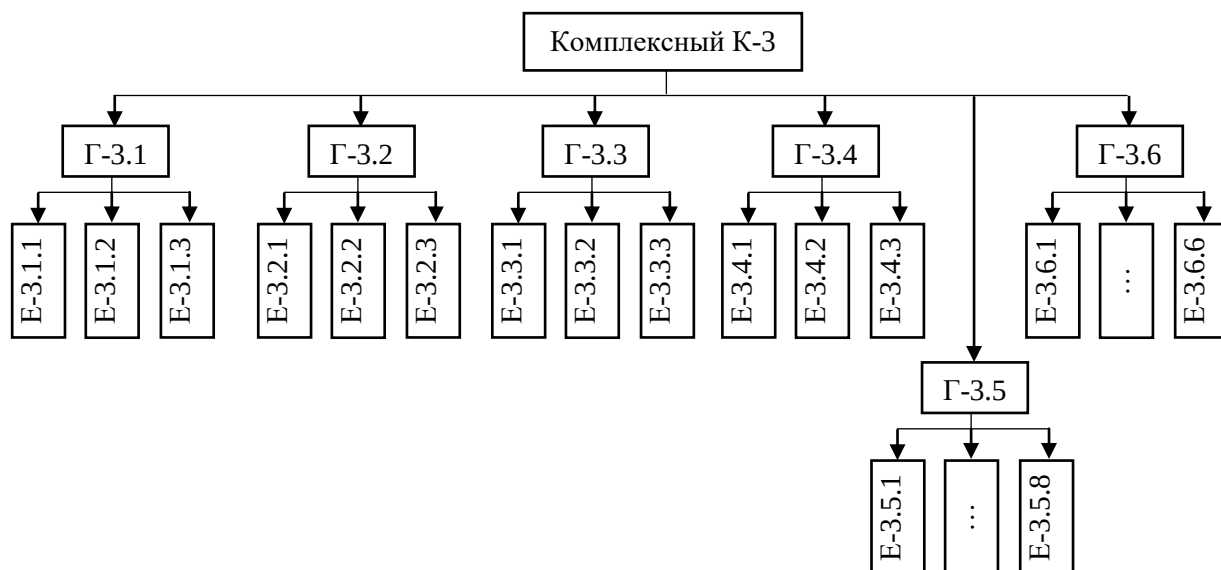


Рис. 4. «Ветвь дерева-свойств» комплексного показателя качества (К-3) «Критерии оценки качества взаимодействия управляющей организации с потребителями (представителями потребителей)»

Таблица 1. Иерархический уровень обобщенного показателя качества ЖКУ

Обобщенный ПК	Комплексные ПК
Качество ЖКУ (О-1)	(К-1) Критерии для оценки качества информации, предоставляемой управляющей организацией потребителям
	(К-2) Критерии оценки услуг и работ управляющей организации непосредственно потребителями (советами МКД, правлениями ТСЖ)
	(К-3) Критерии оценки качества взаимодействия управляющей организации с потребителями (представителями потребителей)
	(К-4) Показатели для оценки качества работы управляющих организаций по итогам работы Управления жилнадзора

Основная «ветвь дерева-свойств» характеризует качество ЖКУ через обобщенный показатель качества (рис. 1). Обобщенный показатель качества – это комплексный показатель качества, относящийся к такой совокупности существенных свойств объекта, по

которой принято оценивать его качество в целом.

Обобщенный показатель качества определяется через комплексные показатели качества:

$$O - 1 = f (K - 1, K - 2, K - 3, K - 4)$$

Таблица 2. Иерархические уровни комплексных показателей качества ЖКУ

Комплексные ПК	Групповые или единичные ПК
К-1	(Г-1.1) Предоставление управляющей организацией информации о перечне оказываемых (предлагаемых) услуг и работ по управлению, содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме
	(Г-1.2) Предоставление управляющей организацией сведений о каждой услуге (работе) по управлению, содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме
	(Г-1.3) Предоставление управляющей организацией сведений о стоимости каждой услуги (работы) по управлению, содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме
	(Г-1.4) Доступность информации об услугах и работах
К-2	(Г-2.1) Выполнение управляющей организацией услуг и работ по содержанию и ремонту общего имущества в соответствии с условиями договора и (или) утвержденного плана работ
	(Г-2.2) Качество предоставляемых управляющей организацией услуг
К-3	(Г-3.1) Представление годового плана работ по содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме
	(Г-3.2) Представление отчета об исполнении годового плана работ по содержанию общего имущества в многоквартирном доме за предыдущий (прошедший) год
	(Г-3.3) Предоставление управляющей организацией собственникам помещений в доме информации, необходимой для принятия решений по управлению многоквартирным домом
	(Г-3.4) Взаимодействие управляющей организации с советом многоквартирного дома
	(Г-3.5) Взаимодействие управляющей организации с потребителями своих услуг (собственниками помещений)
	(Г-3.6) Ориентация на потребителя
К-4	(Е-4.1.1) Жалобы и обращение от потребителей
	(Е-4.1.2) Процентное отношение количества наложенных органом жилищного надзора административных штрафов на управляющую организацию к общей площади жилищного фонда, находящегося в управлении
	(Е-4.1.3) Процентное отношение количества административных штрафов, оплаченных управляющей организацией и поступивших в бюджет органов местного самоуправления по результатам применения органом жилищного надзора мер административного воздействия к общему количеству наложенных штрафов
	(Е-4.1.4) Процентное отношение неисполненных управляющей организацией предписаний, выданных органом жилищного надзора к общему количеству выданных предписаний

Значения комплексных показателей качества (К-1, К-2, К-3) определяются через значения групповых показателей качества:

$$K - 1 = f(\Gamma - 1.1, \Gamma - 1.2, \Gamma - 1.3, \Gamma - 1.4),$$

$$K - 2 = f(\Gamma - 2.1, \Gamma - 2.2),$$

$$K - 3 = f(\Gamma - 3.1, \Gamma - 3.2, \Gamma - 3.4, \Gamma - 3.5, \Gamma - 3.6),$$

Значение комплексного показателя качества (К-4) определяется через значения единичных показателей качества:

$$K - 4 = f(E - 4.1.1, E - 4.1.2, E - 4.1.3, E - 4.1.4)$$

Значения групповых показателей качества определяются через значения единичных показателей качества:

$$\Gamma - 1.1 = f(E - 1.1.1, E - 1.1.2),$$

$$\Gamma - 1.2 = f(E - 1.2.1, E - 1.2.2, E - 1.2.3),$$

$$\Gamma - 1.3 = f(E - 1.3.1, E - 1.3.2),$$

$$\Gamma - 1.4 = f(E - 1.4.1, E - 1.4.2, E - 1.4.3, E - 1.4.4, E - 1.4.5),$$

$$\Gamma - 2.1 = f(E - 2.1.1, E - 2.1.2, E - 2.1.3, E - 2.1.4, E - 2.1.5, E - 2.1.6, E - 2.1.7, E - 2.1.8, E - 2.1.9),$$

$$\Gamma - 2.2 = f(E - 2.2.1, E - 2.2.2, E - 2.2.3, E - 2.2.4, E - 2.2.5, E - 2.2.6, E - 2.2.7, E - 2.2.8, E - 2.2.9, E - 2.2.10, E - 2.2.11, E - 2.2.12, E - 2.2.13, E - 2.2.14),$$

$$\Gamma - 3.1 = f(E - 3.1.1, E - 3.1.2, E - 3.1.3),$$

$$\Gamma - 3.2 = f(E - 3.2.1, E - 3.2.2, E - 3.2.3),$$

$$\Gamma - 3.3 = f(E - 3.3.1, E - 3.3.2, E - 3.3.3),$$

$$\Gamma - 3.4 = f(\text{Е} - 3.4.1, \text{Е} - 3.4.2, \text{Е} - 3.4.3),$$

$$\Gamma - 3.6 = f(\text{Е} - 3.6.1, \text{Е} - 3.6.2, \text{Е} - 3.6.3, \text{Е} - 3.6.4, \text{Е} - 3.6.5, \text{Е} - 3.6.6).$$

$$\Gamma - 3.5 = f(\text{Е} - 3.5.1, \text{Е} - 3.5.2, \text{Е} - 3.5.3, \text{Е} - 3.5.4, \text{Е} - 3.5.5, \text{Е} - 3.5.6, \text{Е} - 3.5.7, \text{Е} - 3.5.8),$$

Таблица 3. Иерархические уровни групповых показателей качества ЖКУ

Групповые ПК	Единичные ПК
Г-1.1	(Е-1.1.1) по управлению
	(Е-1.1.2) по содержанию и ремонту
Г-1.2	(Е-1.2.1) детальное описание содержания услуги (работы) как сведения о выполняемых действиях
	(Е-1.2.2) указание периодичности (срока) оказания услуги (выполнения работы)
	(Е-1.2.3) результат оказания услуги (выполнения работы)
Г-1.3	(Е-1.3.1) в расчете на единицу измерения, соответствующую количественной характеристике объекта общего имущества в многоквартирном доме, в отношении которого осуществляется услуга (работа)
	(Е-1.3.2) в расчете на 1 кв. метр площади помещений в многоквартирном доме
Г-1.4	(Е-1.4.1) информация о рынке ЖКХ
	(Е-1.4.2) наличие законодательных актов, размещенных для ознакомления;
	(Е-1.4.3) образцы заполнения документов
	(Е-1.4.4) возможность потребителя обратиться через сайт с вопросом к управляющей компании
	(Е-1.4.5) возможность подачи показаний индивидуальных приборов учета через сайт
Г-2.1	(Е-2.1.1) содержание (техническое обслуживание) конструкций дома
	(Е-2.1.2) техническое обслуживание внутридомовых инженерных систем
	(Е-2.1.3) санитарное содержание помещений общего пользования в доме
	(Е-2.1.4) содержание земельного участка, включая благоустройство и озеленение
	(Е-2.1.5) вывоз твердых бытовых отходов
	(Е-2.1.6) содержание контейнерных площадок
	(Е-2.1.7) аварийно-диспетчерское обслуживание
	(Е-2.1.8) текущий ремонт
	(Е-2.1.9) капитальный ремонт
Г-2.2	(Е-2.2.1) холодное водоснабжение
	(Е-2.2.2) водоотведение
	(Е-2.2.3) горячее водоснабжение
	(Е-2.2.4) отопление
	(Е-2.2.5) электроснабжение
	(Е-2.2.6) газоснабжение (при наличии)
	(Е-2.2.7) частота уборки
	(Е-2.2.8) наличие и состояние урн для мусора
	(Е-2.2.9) высадка деревьев и кустарников (при необходимости), обеспечение ухода за зелеными насаждениями и их сохранностью
	(Е-2.2.10) состояние и содержание детских игровых площадок и малых архитектурных форм
	(Е-2.2.11) состояние фасадов, наличие уличных указателей и номера домов
	(Е-2.2.12) состояние подъездов
	(Е-2.2.13) состояние входных дверей
	(Е-2.2.14) проведение субботников
Г-3.1	(Е-3.1.1) план содержит все необходимые разделы
	(Е-3.1.2) в каждом разделе плана указаны конкретные услуги и работы
	(Е-3.1.3) для всех услуг и работ указаны периодичность и сроки выполнения
Г-3.2	(Е-3.2.1) план работ по содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме на отчетный год, содержащий указания на периодичность и сроки осуществления работ (услуг)

	(Е-3.2.2) сведения о фактическом выполнении работ (оказании услуг), включенных в план работ по содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме
	(Е-3.2.3) сведения об отклонениях от плана и причинах таких отклонений.
Г-3.3	(Е-3.3.1) информацию о состоянии общего имущества, его соответствия (не соответствия) требованиями законодательства (по результатам осмотра)
	(Е-3.3.2) информацию о необходимых (обязательных) работах и ремонтах для надлежащего содержания общего имущества в соответствии с требованиями законодательства
	(Е-3.3.3) предложения по энергосберегающим мероприятиям (обязательным и рекомендуемым)
Г-3.4	(Е-3.4.1) ежемесячные встречи для предоставления отчета и подписания акта выполнения услуг и работ
	(Е-3.4.2) рассмотрение предложений совета
	(Е-3.4.3) предоставление информации по запросу совета
Г-3.5	(Е-3.5.1) участие в общих собраниях собственников помещений
	(Е-3.5.2) регулярные встречи непосредственно в доме
	(Е-3.5.3) проведение опросов (анкетирование) собственников помещений
	(Е-3.5.4) прием заявлений, предложений, обращений потребителей
	(Е-3.5.5) ответы в установленный срок на заявления, обращения собственников помещений
	(Е-3.5.6) предоставление информации по запросам
	(Е-3.5.7) прием граждан в установленные дни и часы
	(Е-3.5.8) информирование потребителей через информационные стенды (доски) на придомовой территории и (или) в подъездах дома
Г-3.6	(Е-3.6.1) простота дозвона
	(Е-3.6.2) соблюдение норм делового этикета (приветствие и прощание сотрудников)
	(Е-3.6.3) полнота уточнения данных клиента
	(Е-3.6.4) уважительное обращение сотрудника с клиентом
	(Е-3.6.5) готовность сотрудника предоставить свои контактные данные
	(Е-3.6.6) адекватное отношение к клиенту при возражениях

Совершенствована номенклатура показателей качества жилищно-коммунальных услуг, за счет применения правил построения дерева свойств, принципов квалиметрии и использования иерархического метода построения классификаций.

Совершенствованная номенклатура является четырехуровневой классификацией, характеризующей четыре иерархических уровня, выраженные через обобщенный, комплексные, групповые и единичные показатели качества.

Список литературы

1. Гутовская И.В., Белая М.Н. Анализ требований по оценке качества работ в сфере жилищно-коммунального хозяйства / И.В. Гутовская, М.Н. Белая // Наука молодых – будущее России: сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых (10 - 11 декабря 2019 года), в 8-х томах, Том 1. Юго-Зап. гос. ун-т., Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2019, – С. 252-255.
2. Гутовская И.В., Белая М.Н. К вопросу по обеспечению и оцениванию качества услуг в сфере жилищно-коммунального хозяйства в условиях товариществ собственников жилья / А.В. Гутовская, М.Н. Белая // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование: сборник научных трудов 6-й Международной молодежной научно-практической конференции (13 ноября 2019 года)/ редкол.: Павлов Е.В. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т., Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2019. – С. 103-105.
3. Федюкин, В.К. Управление качеством производственных процессов (для бакалавров). [Электронный ресурс] : Учебные пособия — Электрон. дан. — М. : КноРус, 2015. — 230 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/53570>.
4. Рыжаков, В.В. Квалиметрия. Часть 1. Показатели качества. [Электронный ресурс] : Учебные пособия / В.В. Рыжаков, М.Ю. Рудюк. — Электрон. дан. — Пенза : ПензГТУ, 2012. — 92 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/62793>.

References

1. Gutovskaya I.V., Belaya M.N. Analysis of requirements for assessing the quality of work in the field of housing and communal services / I.V. Gutovskaya, M.N. Belaya // Science of the young - the future of Russia: a collection of scientific articles of the 4th

- International Scientific Conference of Promising Developments of Young Scientists (December 10 - 11, 2019), in 8 volumes, Volume 1. South-West. state Univ., Kursk: South-West. state un-t, 2019, - P. 252-255.
2. Gutovskaya I.V., Belaya M.N. On the issue of ensuring and assessing the quality of services in the field of housing and communal services in the conditions of homeowners associations / A.V. Gutovskaya, M.N. Belaya // Product quality: control, management, improvement, planning: collection of scientific papers of the 6th International Youth Scientific and Practical Conference (November 13, 2019) / Editorial: Pavlov E.V. (ed.); Southwest state Univ., Kursk: South-West. state Univ., 2019. - P. 103-105.
 3. Fedyukin, V.K. Quality management of production processes (for bachelors). [Electronic resource]: Textbooks - Electron. Dan. - M.: KnoRus, 2015. - 230 p. - Access mode: <http://e.lanbook.com/book/53570>.
 4. Ryzhakov, V.V. Qualimetry. Part 1. Quality indicators. [Electronic resource]: Textbooks / V.V. Ryzhakov, M.Yu. Rudyuk. - The electron. Dan. - Penza: PenzGTU, 2012. - 92 p. - Access mode: <http://e.lanbook.com/book/62793>.

УДК 006.063

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ К МАРКИРОВКЕ ВИНОДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ

К.А. Касьяненко¹ студент, М.Н. Белая² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33,

г. Севастополь, Российская Федерация, 2990053, e-mail: ksenya.kasyanenko.99@mail.ru

² ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, ул. Университетская, 33,

г. Севастополь, Российская Федерация, 2990053, e-mail: belaya_079@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается ряд документов, на основании которых в настоящее время производится маркировка винодельческой продукции. В работе рассмотрены не только действующие нормативные и правовые документы, а так же разработанный и предложенный к введению в действие технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности алкогольной продукции», содержащий обязательные требования к маркировке (в настоящее время данный технический регламент проходит процедуру утверждения и введения в действие). Проведен анализ нормативной и правовой документации с целью определения и сопоставления критериев маркировки винодельческой продукции. На основании проведенного анализа выявлено, что действующие документы не содержат единого перечня критериев, следовательно, при маркировке различного вида винодельческой продукции зачастую могут быть упущены и не описаны важные параметры. Принятие нового Технического Регламента позволит объединить, дополнить и систематизировать критерии маркировки, что позволит не вводить в заблуждение потребителя информации на этикетке винодельческой продукции. Обобщая, можно сделать вывод, что законодательство движется в сторону детализации и конкретизации требований и знаков, наносимых на этикетку на конкретный вид продукции.

Ключевые слова: маркировка, анализ, винодельческая продукция, этикетка, потребитель, изготовитель, критерии, требования, информация.

COMPARATIVE ANALYSIS OF LABELING REQUIREMENTS FOR WINE PRODUCTS

K.A. Kasyanenko¹ student, M.N. Belaya² cand. sc. tech

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 2990053,
e-mail: ksenya.kasyanenko.99@mail.ru

²FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 2990053,
e-mail: belaya_079@mail.ru

Abstract

The article discusses a number of documents on the basis of which wine products are currently being labeled. The work considers not only the current regulatory and legal documents, but also the technical regulation of the Eurasian

Economic Union "On the safety of alcoholic beverages" developed and proposed for implementation, which contains mandatory labeling requirements (currently this technical regulation is undergoing approval and introduction into action). The analysis of regulatory and legal documentation in order to determine and compare the criteria for labeling wine products. Based on the analysis, it was found that the current documents do not contain a single list of criteria, therefore, when marking various types of wine products, important parameters can often be missed and not described. The adoption of the new Technical Regulations will allow combining, supplementing and systematizing the labeling criteria, which will not mislead the consumer of information on the label of wine products. Summarizing, we can conclude that the legislation is moving towards detailing and concretizing the requirements and signs applied to the label for a particular type of product.

Keywords: labeling, analysis, wine products, label, consumer, manufacturer, criteria, requirements, information.

В процессе изготовления винодельческое изделие проходит длительный жизненный цикл, начиная с входного контроля сырья, вспомогательной продукции, контроля бутылок, пробок, своевременного контроля при протекании производства и контроля качества готовой продукции. Потребитель не имеет возможности наблюдать за всем процессом, однако полностью полагается на добросовестность изготовителя.

В соответствии с Федеральным законом «О стандартизации в Российской Федерации» [1] изготовитель не должен вводить потребителя в заблуждение. Первичную информацию о продукции потребитель может получить непосредственно с ее этикетки.

В настоящее время во всех странах наличие этикетки на бутылке является обязательным. Этикетка должна содержать исчерпывающую информацию о продукции. Сведения, нанесенные на этикетку, делятся на обязательные к нанесению и те, которые указываются по желанию компании - производителя. Обязательные требования регламентируются положениями, установленными в законодательных и нормативных документах на вид продукции.

К документам, регламентирующим требования к маркировке винной продукции, относятся [2-6]:

- ТР ТС 022/2011 Технический регламент Таможенного союза "Пищевая продукция в части ее маркировки";

- ТР ЕАЭС 047/2018 Технический регламент Евразийского экономического союза "О безопасности алкогольной продукции";

- ГОСТ 32061-2013 Продукция винодельческая. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение;

- ГОСТ 32030-2013 Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия;

- ГОСТ 33336-2015 Вина игристые. Общие технические условия.

ТР ТС 022/2011 "Пищевая продукция в части ее маркировки" устанавливает требования к пищевой продукции в части ее маркировки в целях предотвращения действий, вводящих в за-

блуждение потребителей относительно обеспечения реализации и воплощения прав товаропотребителей на достоверные и надежные сведения от производителей о пищевой продукции [2].

ТР ЕАЭС 047/2018 "О безопасности алкогольной продукции" утвержден решением совета Евразийской экономической комиссии от 5 декабря 2018 года N 98 и вступает в силу с 09 января 2021 года. Данный технический регламент определяет обязательные для применения и реализации требования к алкогольной продукции и сопутствующим процессам (хранение, перевозка (транспортирование), реализация и утилизация) [3].

ГОСТ 32061-2013 «Продукция винодельческая. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение» имеет широкое распространение на винодельческую продукцию в потребительской таре и устанавливает требования к ее упаковке, маркировке, транспортировке и хранению. Стандарт не охватывает игристые вина (шампанское) [4].

ГОСТ 32030-2013 «Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия» распространяется на столовые вина и столовые виноматериалы, в том числе на столовые вина географических наименований и столовые виноматериалы географических наименований [5].

ГОСТ 33336-2015 «Вина игристые. Общие технические условия» охватывает требования к игристым винам - винодельческому продукту с объемной долей этилового спирта от 8,5% до 13,5%, насыщенному двуокисью углерода в герметических сосудах под давлением в результате полного или неполного спиртового брожения виноградного сусла или вторичного брожения столового виноматериала и давлением двуокиси углерода в бутылке не менее 300 кПа при температуре 20°C. В нем так же изложены необходимые требования к маркировке игристых вин [6].

Нормативно-правовые документы [2-6] регламентируют требования к маркировке. Следовательно, для определения единых требований к маркировке целесообразно провести сравнительный анализ данных требований. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1

Таблица 1. Сравнительный анализ критериев маркировки винодельческой продукции

Критерий маркировки	Обозначение документа				
	ТР ЕАЭС 047/2018	ТР ТС 022/2011	ГОСТ 32061	ГОСТ 32030	ГОСТ 33336
	Соответствие критериям				
Наименование алкогольной продукции.	+	+	-	+	+
Наименования и места нахождения изготовителя, организации-импортера	+	+	-	+	+
Количество (объем) винодельческой продукции	+	+	+	+	+
Объемная доля этилового спирта	+	-	+	+	+
Массовая концентрация сахаров (кроме сухих вин и винодельческой продукции с объемной долей этилового спирта не менее 35%)	+	-	+	+	+
Дата изготовления (розлива) винодельческой продукции	+	+	+	+	+
Год урожая	+	-	+	+	+
Метод произв-ва (классический/резервуарный)- для игристых вин	+	-	-	-	+
Минимальный срок выдержки дистиллятов, входящих в купажи винодельческой продукции с объемной долей этилового спирта не менее 35%	+	-	+	-	-
Состав (для винных напитков)	+	+	+	+	+
Условия хранения	+	+	-	+	+
Наличие пищевых добавок; ароматизаторов и т.д.	+	+	+	+	+
Сведения о наличии компонентов, полученных с применением генно-модифицированных организмов (ГМО)	+	+	-	+	+
Информация об оценке соответствия продукции (единый знак обращения продукции на рынке)	+	+	-	-	-
О противопоказаниях к употреблению алкогольной продукции: "Алкоголь противопоказан детям и подросткам до 18 лет, беременным, лицам с заболеваниями центральной нервной системы, почек, печени и других органов пищеварения";	+	-	-	+	+
О вреде употребления алкогольной продукции для здоровья человека	+	-	-	+	+

На основании проведенного сравнительного анализа, можно сделать вывод, что ТР ЕАЭС 047 "О безопасности алкогольной продукции" максимально объединяет и дополняет критерии к маркировке винодельческой продукции в ранее принятых нормативных документах.

Данный Технический Регламент будет устанавливать обязательные к исполнению критерии маркирования винодельческой продукции, а добровольные стандарты - закреплять требования с учетом особенностей продукции. Ведь могут быть также надписи, обязательные только для отдельных групп вин. К примеру, на этикетках игристых вин в некоторых странах Союза непременно должно обозначаться содержание сахара.

Обобщая изученные сведения, можно сделать вывод, что законодательство движется в

сторону детализации и конкретизации требований и знаков, наносимых на этикетку. В дальнейшем это поспособствует тому, что на потребительской упаковке станет меньше излишней и труднопонимаемой информации, вводящей в заблуждение покупателей.

Если указанные на этикетке винодельческой продукции сведения окажутся неполными или недостоверными, будут нанесены нечетко или являться трудночитаемыми, то указанные изделия признаются фальсифицированными и подлежат принудительному изъятию с продаж. Это станет стимулом изготовителям более тщательно и внимательно, а главное - достоверно маркировать свою продукцию.

Список литературы:

1. Федеральный закон №162-ФЗ от 29 июня 2015 г. «О стандартизации в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. 2016. URL: http://gost.ru/wps/wcm/connect/43debd0048f477a5a38dfb56779c92ad/FZ_29.06.2015_162.pdf?MOD=AJPERES (дата обращения: 10.02.2020)
2. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011 "Пищевая продукция в части ее маркировки" (с изменениями на 14 сентября 2018 года) [Электронный ресурс]. 2018. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320347> (дата обращения 10.02.2020)
3. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 047/2018 "О безопасности алкогольной продукции" [Электронный ресурс]. 2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/551893590> (дата обращения 11.02.2020)
4. ГОСТ 32061-2013 Продукция винодельческая. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение; Введ. 01.06.2014 - Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2018. – 8 с.
5. ГОСТ 32030-2013 Вина столовые и виноматериалы столовые. Общие технические условия; Введ. 01.06.2014 - Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2013. – 18 с.
6. ГОСТ 33336-2015 Вина игристые. Общие технические условия; Введ. 01.01.2017 - Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2016. – 16 с.

References

1. Federal Law No. 162-ФЗ dated June 29, 2015 "On Standardization in the Russian Federation" [Electronic resource]. 2016. URL: http://gost.ru/wps/wcm/connect/43debd0048f477a5a38dfb56779c92ad / FZ_29.06.2015_162.pdf?MOD = AJPERES (Date accessed: 02/10/2020)
2. Technical regulations of the Customs Union TR CU 022/2011 "Food products in terms of their labeling" (as amended on September 14, 2018) [Electronic resource]. 2018. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320347> (accessed 02.10.2020)
3. Technical regulation of the Eurasian Economic Union of the EAEU TR 047/2018 "On the safety of alcoholic beverages" [Electronic resource]. 2016. URL: <http://docs.cntd.ru/document/551893590> (accessed 02.02.2020)
4. GOST 32061-2013 Wine products. Packaging, labeling, transportation and storage; Enter 06/01/2014 - Official publication. M.: Standartinform, 2018. - 8 p.
5. GOST 32030-2013 table wines and table wine materials. General specifications; Enter 06/01/2014 -Official publication. M.: Standartinform, 2013. - 18 p.
6. GOST 33336-2015 Sparkling wines. General specifications; Enter 01/01/2017 - Official publication. M.: Standartinform, 2016. - 16 p.

УДК 006.015.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА УСЛУГ ПЛЯЖЕЙ

М. Коршунова¹ магистрант, М.Н. Беляя² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: marinapivtorac@yandex.ua

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: belaya_079@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы оценки качества услуг морских пляжей. С целью описания объекта оценки качества – услуги морских пляжей, авторами проведен анализ нормативной базы, в результате которого предложено определение «услуга морских пляжей».

На основе анализа нормативно-правовых документов предложена номенклатура показателей качества услуг пляжей, позволяющая учитывать потребности потребителей. В статье проведена корректировка номенклатуры показателей качества с учетом принципов квалиметрии: «недопустимо использование взаимообусловленных и, следовательно, дублирующих показателей одного и того же свойства» и «приоритет в выборе определяющих показателей для оценки качества продукции всегда на стороне потребителя». Из номенклатуры

ры показателей качества услуг морских пляжей исключены дублирующие показатели, т.е. показатели несущие одинаковую смысловую нагрузку.

С целью выполнения принципа квалиметрии «приоритет в выборе определяющих показателей для оценки качества продукции всегда на стороне потребителя» авторами предлагается проведение социального опроса с целью выявления желаний и предпочтений потребителя.

Ключевые слова: услуги морских пляжей, качество, оценка качества, показатель качества, номенклатура показателей качества, коэффициент весомости, методика оценки качества

DEFINING THE PROPERTIES OF SERVICE QUALITY INDICATORS

M. Korshunova¹ undergraduate, M.N. Belaya² cand. sc. tech

¹ FSAEI HE "Sevastopol State University", st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: marinapivtorac@yandex.ua

² FSAEI HE "Sevastopol State University", st. University 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: belaya_079@mail.ru

Abstract

The article considers the issues of assessing the quality of services of sea beaches. In order to describe the object of quality assessment - the services of sea beaches, the authors analyzed the regulatory framework, as a result of which the definition of "sea beach service" is proposed.

Based on the analysis of regulatory documents, a nomenclature of indicators of the quality of beach services is proposed, which allows taking into account the needs of consumers. The article corrected the nomenclature of quality indicators taking into account the principles of qualimetry: "it is unacceptable to use interdependent and, therefore, duplicate indicators of the same property" and "priority in the choice of determining indicators for assessing product quality is always on the side of the consumer". Duplicate indicators are excluded from the range of indicators of the quality of services of sea beaches, i.e. indicators bearing the same meaning.

In order to fulfill the principle of qualimetry "the priority in the selection of determining indicators for assessing the quality of products is always on the side of the consumer", the authors propose a social survey in order to identify the desires and preferences of the consumer.

Keywords: sea beach services, quality, quality assessment, quality indicator, nomenclature of quality indicators, weight coefficient, quality assessment methodology.

В современной экономической ситуации туристические услуги играют важную роль в развитии города Севастополя и Республики Крым. Важную роль в привлечении туристов можно отнест к морским пляжам Крыма.

Стоит отметить, что на повторное привлечение потребителей можно рассчитывать только при условии их удовлетворения. В связи с этим приобретает актуальность вопрос оценки качества услуг морских пляжей.

Требования к услугам пляжей регламентируются рядом нормативно-правовых документов [1, 2]. Авторами [3] были проанализированы правовые акты правительства города Севастопо-

ля, в которых установлены требования к морским пляжам и национальный стандарт ГОСТ Р 55698-2013 «Туристские услуги. Услуги пляжей. Общие требования». На основе анализа нормативно-правовых документов предложена номенклатура показателей качества (ПК) услуг пляжей.

Однако, опираясь на анализ нормативно-правовых актов, не было выявлено определения «услуги пляжей». Опираясь на анализ нормативных документов, выделяют следующие определения (табл. 1): пляж [4], услуга и социально-культурная услуга [5].

Таблица 1. Составляющие определения услуг морских пляжей

Наименование термина	Определение	Нормативный документ
Пляж	Участок побережья естественного или искусственного водоема (океана, моря, озера, водохранилища, реки, пруда) с прибрежными водами (акваторией), оборудованный и пригодный для организованного отдыха, купания и приема оздоровительных и профилактических процедур	ГОСТ Р 55698-2013 Туристские услуги. Услуги пляжей. Общие требования
Услуга	Результат непосредственного взаимодействия исполнителя и потребителя, а также собственной деятельности исполнителя услуг по удовлетворению потребности потребителя услуг	ГОСТ Р 50646-2012 Услуги населению. Термины и определения
Социально-культурная (нематериальная) услуга	Услуга по удовлетворению духовных, интеллектуальных, этических потребностей и поддержание нормальной жизнедеятельности потребителя, в том числе поддержание и восстановление здоровья, духовное и физическое развитие личности, повышение профессионализма.	ГОСТ Р 50646-2012 Услуги населению. Термины и определения

Таким образом, опираясь на анализ определений, приведенных в табл. 1 можно предложить следующее определение услуг пляжей. Итак, услуга морских пляжей – это результат непосредственного взаимодействия исполнителя и потребителя услуг, осуществляемый на участке морского побережья, оборудованного и пригодного для организационного отдыха, купания, приема оздоровительных (профилактических) процедур, с целью удовлетворения духовных и физических потребностей потребителя в отдыхе, поддержании и восстановлении здоровья.

Проведя анализ требований нормативно-правовой базы (НПБ) [3] можно выявить дублирующие показатели. Опираясь на один из принципов квалиметрии: «недопустимо использование взаимообусловленных и, следовательно, дублирующих показателей одного и того же свойства», следует предположить необходимость исключения повторяющихся показателей.

В таблице 2 проведен анализ показателей качества услуг морских пляжей [3] с целью исключения дублирующих показателей, показателей несущих одну и ту же смысловую нагрузку.

Таблица 2. Исключение дублирующих показателей услуг морских пляжей

Основной показатель	Дублирующие показатели
Наличие информационного табло с информацией о пляже для потребителя услуг	Наличие карты (схемы пляжа)
	Наличие правил поведения, как на информационном табло, так и на всех пунктах входа на пляж
Пригодность территории для расположения пляжа	Отсутствие выхода грунтовых вод
	Наличие берегозащитных противооползневых мероприятий
	Расположение пляжа в благоприятных экологических условиях
	Отсутствие вредных воздействий на окружающую среду в процессе предоставления услуги
	Пляжи, их сооружения, искусственные изменения рельефа не должны изменять основные природные факторы: воздухообмен, водообмен, состояние атмосферы
	Защита пляжной зоны от попадания в нее промышленных и сточных вод
Ежедневная уборка пляжей туалетов, туалетов, зеленой зоны, раздевалок во время работы и после закрытия пляжа	Подготовка пляжа к купальному сезону (уборка мусора, подсыпка песка и др.)
	Проведение уборки пляжей
Функциональное зонирование береговой зоны и акватории	Расстояние от входной зоны до парковки (не более 1000 м)
	Близость зоны обслуживания к зоне отдыха
	Наличие и оборудование спортивных зон
	Наличие и оснащенность детских зон
	Зонирование акватории пляжа для разных категорий (детей, взрослых, морских развлечений)
	наличие площадок для игр в волейбол, бадминтон, кегли и др.
Оснащенность пляжа инженерным оборудованием (холодное водоснаб-	Наличие коридоров для выхода плавсредств
	наличие санитарно-гигиенических объектов (туалеты, урны, души, устройства для мытья ног, фонтанчики с питьевой водой)

жение, локальные очистные сооружения и др.)	дальность расположения санитарно-гигиенических объектов друг от друга (не менее 50 – не более 100 м)
	оснащенность туалетов/биотуалетов туалетной бумагой, мылом, бумажными полотенцами/электрополотенцем, крючками
	расположение урн для мусора на расстоянии 40 м друг от друга, 3-5 м от зеленых насаждений, не менее 10 м от акватории
	наличие фонтанчиков с питьевой водой (расстояние не должно превышать 200 м)
Выполнение требований по обеспечению безопасности людей на воде, в соответствии с ПП №236-ПП (№45-ПП)	проведение перед открытием пляжного сезона водолазного обследования, очистки дна акватории
	развертывание на пляже одного или нескольких спасательных постов
	наличие расписания работы спасательного поста по согласованию с центром обеспечения мероприятий безопасности гражданской защиты Севастополя и МЧС России по г. Севастополю
	наличие как минимум двух матросов-спасателей в смене, но не менее одного на каждые 50 м береговой линии
	обозначение границ зон плавания буйками красного или оранжевого цвета на расстоянии 25 метров один от другого; внешняя граница зоны купания на расстоянии 50 м от береговой линии
	наличие на пляже профилактических стендов
	наличие стоек со спасательными кругами через каждые 50 м на расстоянии 5 м от уреза воды
	наличие радиосвязи, телефонной связи, помещения для оказания первой медицинской помощи
	контроль за отсутствием продажи спиртных напитков на пляжах

Стоит отметить, что информационное табло включает в себя карту (схему) пляжа, а также правила поведения на морском пляже. В связи с этим дублирующие показатели исключаем, оставляет только показатель «Наличие инфор-

мационного табло с информацией о пляже для потребителя услуг».

Таким образом, окончательная номенклатура ПК, с исключением дублирующих показателей, примет вид, представленный в таблице 3.

Таблица 3. Номенклатура показателей качества услуг морских пляжей города Севастополя

Комплексный показатель	Групповой показатель качества	Единичный показатель качества
Показатель назначения	Показатель применения	обеспечение свободного доступа граждан на пляж
		наличие информационного табло с информацией о пляже для потребителя услуг
		оборудование пляжей информационными стендами (указание температуры воды и температуры воздуха; рекомендованная температура воды и воздуха и времени суток, благоприятными для купания; информация по профилактике несчастных случаев на воде)
	Показатель совместности	отсутствие препятствий к предоставлению других услуг (услуги развлечений, услуги общественного питания; услуги проката пляжных зонтов, шезлонгов, лежаков; оказание фото- и видео услуг и др.)
	Специфические показатели	пригодность территории для расположения пляжа
		оснащение пляжа инженерным оборудованием (холодное водоснабжение, локальных очистных сооружений)
		функциональное зонирование береговой зоны и акватории
		оснащенность зоны отдыха (зонты, шезлонги, матрасы)
		наличие подъездных путей для автомобилей, пешеходных подходов и спусков
		бесплатная автостоянка в шаговой доступности (не более 1000 м)
		минимальная площадь береговой зоны на 1 чел. – не менее 3 м ²

		площадь акватории в месте купания на одного человека – не менее 10 м ²
		безопасность входа в воду
		обозначение границы зон буями оранжевого цвета на расстоянии 20-30 м друг от друга
		расположение за территорией пляжа временных баз отдыха для водных видов спорта (для катания на катамаранах, водных лыжах, скутерах, лодках, серфинга и др.)
		наличие подготовленных тренеров и инструкторов при оказании услуг по обучению плаванию, дайвингу, серфингу (<u>в случае предоставления таких услуг</u>)
		ежедневная уборка пляжей, туалетов, зеленой зоны, раздевалок <u>после закрытия пляжа</u>
Показатель безопасности	Показатели безопасности для жизни, здоровья и имущества потребителей	выполнение требований по обеспечению безопасности людей на воде, в соответствии с ПП № 236-ПП (№ 45-ПП)
		обеспечение контроля за соблюдением санитарно-эпидемиологических требований и выполнением санитарно-противоэпидемических мероприятий на пляже в течение купального сезона (№ 45-ПП)
		результаты проверки качества воды акватории, качества береговой зоны (земли), качества питьевой воды
		наличие информирования о запрете купания в опасных и чрезвычайных ситуациях, а также при загрязнении воды
		осуществление контроля за соблюдением требований безопасности
Показатели профессионального уровня персонала	Показатели профессиональной подготовки и квалификации	наличие необходимого персонала (сотрудники спасательной службы, медицинские работники, аниматоры, персонал предприятий питания и торговли, охранники и технический персонал)
		соблюдение персоналом санитарно-гигиенических, противопожарных, противоэпидемиологических норм
		обеспечение спасателей легко узнаваемой формой и спасательным оборудованием
		наличие специальной подготовки и практических навыков персонала в соответствии с профилем выполняемых работ
	Показатели знания и соблюдения профессиональной этики поведения	подготовка персонала к действиям в чрезвычайных ситуациях

Стоит отметить еще один принцип квалиметрии, который вытекает из определения качества услуги.

Под качеством услуг морских пляжей следует понимать совокупность ПК услуги, определяющих ее способность удовлетворять установленные или предполагаемые потребности потребителя.

Таким образом, при разработке методики оценки качества услуг морских пляжей, целесообразно придерживаться следующего принципа квалиметрии: приоритет в выборе определяющих показателей для оценки качества продукции всегда на стороне потребителя. Стоит отметить, что степень удовлетворенности потребителя – есть качество.

В таблице 3 по результатам анализа НПБ, регламентирующей требования к услугам пляжей предложена номенклатура ПК. Однако, стоит отметить, что у каждого потребителя услуги могут быть свои предпочтения и потребности.

Таким образом, перед непосредственной разработкой методики оценки качества необходимо выявить те ПК, которые выделяет потребитель. Кроме того, стоит отметить, что модель услуг пляжей (имеется в виду перечень ПК) отображенная через призму анализа НПБ может не учесть некоторые существенные желания потребителя услуги (возможно, ее можно расширить, если узнать чего желает сам потребитель).

Эффективным и простым в обработке методом проведения опроса потребителей является анкетирование. Анкетирование – это процедура проведения опроса с помощью специально подготовленных бланков.

Таким образом, в заключение, целесообразно предложить проведения опроса потребителей с целью формирования окончательной номенклатуры ПК, учитывающей желания и предпочтения потребителей услуги.

Список литературы

1. Об утверждении государственной программы города Севастополя «Развитие культуры и туризма города Севастополя на 2017-2020 годы»: постановление Правительства Севастополя от 07.11.2016 №1050-ПП. – 2016.
2. Об установлении перечня пляжей в городе Севастополе: постановление Правительства Севастополя от 17.09.2018 № 605-ПП. – 2018.
3. Белая М.Н., Кравцова С.Е., Коршунова М. Пляжи Севастополя: анализ нормативной правовой базы, регламентирующей показатели качества услуг // Компетентность. – 2019. - №5. – С. 51-54.
4. ГОСТ Р 55698-2013. Туристические услуги. Услуги пляжей. Общие требования. – Введ. 08.11.2013. – М: Стандартинформ, 2015. – 15 с.
5. ГОСТ Р 50646-2012. Услуги населению. Термины и определения. – Введ. 29.11.12. – М: Стандартинформ, 2014. – 11с.

References

1. On approval of the state program of the city of Sevastopol “Development of culture and tourism of the city of Sevastopol for 2017-2020”: Decree of the Government of Sevastopol dated 07.11.2016 No. 1050-PP. - 2016.
2. On establishing a list of beaches in the city of Sevastopol: Decree of the Government of Sevastopol on 09/17/2018 No. 605-PP. - 2018.
3. Belaya M.N., Kravtsova S.E., Korshunova M. Beaches of Sevastopol: analysis of the regulatory legal framework governing indicators of quality of services // Competence. - 2019. - No. 5. - P. 51-54.
4. GOST R 55698-2013. Tourist services. Beach services. General requirements. - Enter. 11/08/2013. - M: Standartinform, 2015. - 15 p.
5. GOST R 50646-2012. Services to the public. Terms and Definitions. - Enter. 11/29/12. - M: Standard-tinform, 2014. - 11 p.

УДК 620.179.147

ВИХРЕТОКОВЫЙ МЕТОД КАК ВИД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Д.А. Мрыхина студент¹, М.Н. Белая² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: mrykhina.1999@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: belaya_079@mail.ru

Аннотация

Данная статья посвящена описанию одного из видов неразрушающего контроля, а именно рассмотрение и анализ вихретокового метода, в основе которого лежит взаимодействие внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объекте контроля этим полем. В статье выделяются характерные особенности и преимущества данного метода: возможность осуществления контроля преобразователем на расстоянии от объекта. Также в качестве примера выступает ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Крым», который в своей деятельности применяет вихретоковый метод для решения различных задач контроля. В статье предусматривается классификация вихретоковых преобразователей, описание конструкции и аппаратуры. Статья позволяет получить общее представление о сущности, принципах работы и характеристиках данного метода. Обосновывается главная идея успешного практического применения вихретокового метода как одного из видов неразрушающего контроля, так как получение информации в виде электрических сигналов, бесконтактность и высокое быстродействие позволяют увеличить производительность и возможность автоматизации контроля.

Ключевые слова: система, объект контроля, неразрушающий контроль, вихретоковый метод, вихретоковый измерительный преобразователь, метод измерения, ток, электромагнитное поле, дефекты, дефектоскоп, катушка индуктивности.

EDDY CURRENT METHOD AS A TYPE OF NON-DESTRUCTIVE TESTING

D.A. Mrykhina¹ student, M.N. Belaya² cand. sc. tech

¹ FSAEI HE "Sevastopol State University", st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: mrykhina.1999@mail.ru

² FSAEI HE "Sevastopol State University", st. University 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: belaya_079@mail.ru

Abstract

This article is devoted to the description of one of the types of non-destructive testing, namely, consideration and analysis of the eddy current method, which is based on the interaction of an external electromagnetic field with the electromagnetic field of eddy currents induced in the object of control by this field. The article highlights the characteristic features and advantages of this method: the ability to control the converter at a distance from the object. Also an example is the Federal State Institution "State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in the Republic of Crimea", which in its activity uses the eddy current method to solve various control problems. The article provides for the classification of eddy current transducers, a description of the design and equipment. The article allows you to get a general idea of the nature, principles of work and characteristics of this method. The main idea of successful practical application of the eddy current method as one of the types of non-destructive testing is substantiated, since obtaining information in the form of electrical signals, contactlessness and high speed can increase productivity and the ability to automate control.

Keywords: system, control object, non-destructive testing, eddy current method, eddy current transducer, measurement method, current, electromagnetic field, defects, flaw detector, inductor.

Согласно ГОСТ 24289-80 «Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения» [1], неразрушающий контроль (НК) должен обеспечивать качество функционирования, надежности и безопасности эксплуатации самых различных технических объектов.

Вихретоковый метод относится к одному из методов неразрушающего контроля, в основе которого лежит взаимодействие переменного электромагнитного поля радиочастотного диапазона (от единиц герц до десятков мегагерц) с ведущим объектом контроля [2, 3].

С помощью данного метода осуществляется контроль таких важных физических параметров как:

- электропроводность и магнитная проводимость;
- определение геометрических размеров электропроводных тел различной формы;
- выявление дефектов.

В основе НК методом вихревых токов лежит зависимость интенсивности и распределе-

ния в объекте контроля от его геометрических, электромагнитных параметров и от взаимного положения измерительного преобразователя (ИП) и объекта контроля (ОК). В качестве ИП обычно используются катушки индуктивности.

Переменный ток, действующий в катушках ИП, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем ОК. Это приводит к тому, что электромагнитное поле вихревых токов действует на катушки ИП, создавая в них ЭДС или изменение полного сопротивления. Таким образом, получить информацию о свойствах объекта контроля или о положении ИП относительно его, можно, снимая показания напряжения на зажимах катушек ИП или их опоры.

Дефект, расположенный на поверхности контролируемого объекта (на небольшой глубине) является причиной изменения траектории вихревых токов, что влечет за собой изменение показателей ЭДС на измерительной обмотке. Данную картину можно наблюдать на рис. 1.

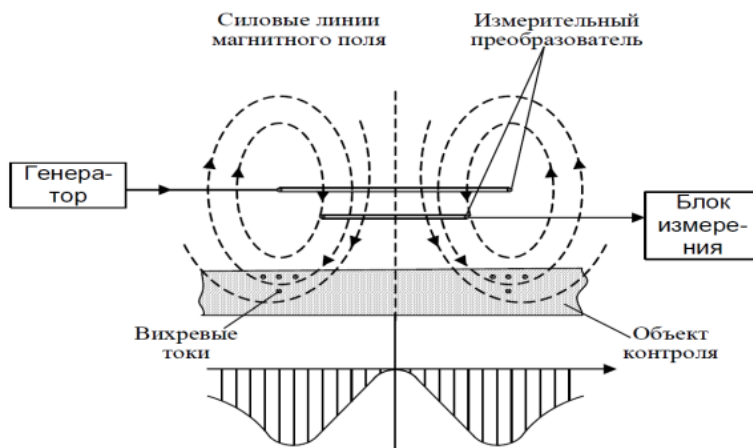


Рис. 1. Изменение траектории вихревых токов

С одной стороны, вихретоковый контроль (ВТК) позволяет осуществлять контроль многих параметров, с другой – требует использование специальных приемов для разделения информации об отдельных параметрах объекта контроля. При контроле одного из параметров, влияние других сигналов на преобразователь мешает, и это влияние необходимо ограничивать.

Для разделения параметров используют раздельное или совместное измерение фазы, частоты и амплитуды сигнала измерительного преобразователя, намагничивая изделия постоянным магнитным полем, ведут различные дефекты.

К средствам НК принято относить контрольно-измерительную аппаратуру, в которой используется физические проникающие поля, излучения и вещества, для получения информации о качестве исследования материалов и изделий.

В борьбе за высокое качество промышленной продукции широкое использование НК в технологических процессах, в испытаниях приема и сдачи, при эксплуатации служит одним из наиболее эффективных средств.

ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Крым» применяет в своей деятельности вихретоковый метод с целью измерения проницаемости изделия, выявления неоднородностей, которые могут сказываться на его соответствии назначению [2].

Среди различных методов НК одно из ведущих мест по количеству разработок и масштабам применения занимает вихретоковые методы. Они позволяют проводить бесконтактный высокопроизводительный контроль электропроводящих объектов.

Конструкции вихретоковых преобразователей (ВТП) определяются их назначением, условиями применения, диапазоном частот тока возбуждения и другими факторами.

Поэтому они очень разнообразны. При этом размеры катушек ВТП колеблются от нескольких миллиметров до 300 ... 500 мм в диаметре, а масса ВТП от десятков граммов до сотен килограммов. Как правило, каждый прибор комплектуется широким набором ВТП, которые могут быть поставлены по заказу потребителя. Особенно широкий спектр типов и вариантов исполнения ВТП для универсальных дефектоскопов.

Основные требования к конструкции ВТП – прочность, износостойкость, защищенность от внешних воздействий, возможность доступа в зону контроля, удобство эксплуатации, эргономичность и соответствие требованиям технической эстетики, взаимозаменяемость, ремонтнопригодность, надежность.

Конструкция ВТП обычно содержит следующие составные части:

- одну или несколько катушек;
- корпус для размещения в нем катушек и других узлов устройства;

Прежде всего, деление идет по типу преобразования параметров ОК в выходной сигнал на параметрические и трансформаторные. Параметрические имеют лишь одну возбуждающую обмотку, активное и индуктивное сопротивление которой зависят от параметров ОК, температуры окружающей среды и расстоянием до ОК. Трансформаторный помимо возбуждающей обмотки имеет еще и измерительную обмотку, ЭДС которой зависит от параметров ОК. Предпочтение отдают параметрическим преобразователям за счет их простоты. По способу соединения катушек разделяют на абсолютные и дифференциальные. Выходной сигнал первого – представляет собой абсолютное значение параметров ОК, а у дифференциальных – это совокупность двух абсолютных значений.

В дефектоскопии методы вихретокового контроля применяются для выявления дефектов,

выходящих на поверхность, или залегают на небольшой глубине. Проявляются такие дефекты, как различные трещины, расслоения, неметаллические включения и т.д.

ВТК позволяет успешно решать многие задачи толщинометрии. Этим методом измеряют диаметр проволоки, прутков и труб, толщину металлических листов и стенок труб при одностороннем доступе, толщину электропроводящих (например, гальванических) и диэлектрических (например, лакокрасочных) покрытий на электропроводящих основаниях, толщину слоев многослойных структур (содержащих электропроводящие слои).

Наиболее важной особенностью вихретокового метода является то, что он исключает необходимость контакта вихретокового измерителя электропроводности с объектом контроля. Полученная первичная информация в виде электрического сигнала, при отсутствии влияния влажности, давления и загрязненности поверхности объекта контроля на сигналы ВТК, определяют широкие возможности вихретокового контроля.

Данному методу присущ ряд недостатков:

- применим только к электропроводящим объектам;
- небольшая глубина зоны контроля.

Структурное состояние металлов и сплавов определяет электрические и магнитные характеристики. Такая особенность позволяет определять однородность химического состава, механические напряжения, собственно структуру

металлов и сплавов. С помощью вихретоковых измерителей можно осуществлять сортировку металлических материалов по маркам, контроль качества термической обработки и проверку состояния поверхностных слоев после шлифования, наклепа и т.д.

Приборы, которые осуществляют контроль на основании вихретокового метода, называются структуроскопами, на рис. 2 можно увидеть пример такого средства контроля.



Рис. 2. Пример структуроскопа

Осуществление контроля вихретоковым методом позволяет сэкономить время и сохранить полученные данные в виде С-скана, так как электромагнитные поля распространяются со скоростью до 10 м/с.

Вихретоковая дефектоскопия из-за своего быстрого развития становится в ряд с другими методами, применяемыми для выявления дефектов.

Список литературы

1. ГОСТ 24289-80 Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200009495>
2. ГОСТ Р ИСО 15549-2009 Контроль неразрушающий. Контроль вихретоковый. Основные положения. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200081743>
3. ГОСТ 27333-87 Контроль неразрушающий. Измерение удельной электрической проводимости цветных металлов вихретоковым методом. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200011135>
4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В.Клюева. Т.2: В 2 кн. – М.: Машиностроение, 2003. – 688с.: ил.

References

1. GOST 24289-80 Non-destructive eddy current control. Terms and Definitions. [Electronic resource] Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200009495>
2. GOST R ISO 15549-2009 Non-destructive testing. Eddy current control. The main provisions. [Electronic resource] Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200081743>
3. GOST 27333-87 Non-destructive testing. Measurement of the electrical conductivity of non-ferrous metals by the eddy current method. [Electronic resource] Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200011135>
4. Non-destructive testing; Reference: In 7 t. Under the general. ed. V.V. Klyueva. T.2: In 2 book. - M.: Mechanical Engineering, 2003. - 688 p.

УДК 531.7

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЕ ООО «СУДОРЕМОНТНЫЙ ЗАВОД ПЕРСЕЙ»

Е.А. Шульга¹ студент, М.Н. Белая² канд. техн. наук

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь,
Российская Федерация, 299053, e-mail: elizaveta.shul@yandex.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь,
Российская Федерация, 299053, e-mail: belaya_079@mail.ru

Аннотация

На территории города Севастополь находится 12 судоремонтных предприятий, в том числе ООО «Судоремонтный завод Персей». В своей деятельности Судоремонтный завод «Персей» предоставляет множество работ, начиная от капитального ремонта судна и заканчивая ремонтом дельных вещей на нем. В процессе ремонта очень важную роль играет процесс измерения геометрических параметров структурных элементов.

В статье проведён анализ состояния средств измерений для геометрических величин на судоремонтном предприятии ООО «Судоремонтный завод Персей». Анализ состояния метрологического обеспечения геометрических измерений, в статье рассматривается, как способ исследования свойств метрологического обеспечения геометрических измерений с целью выработки решений, направленных на поддержание и повышение уровня метрологического обеспечения на предприятии ООО «Судоремонтный завод Персей». Для каждого средства измерительной техники (СИТ) представлены метрологические характеристики (МХ), а также назначение СИТ. Всего выделено три основных группы геометрических СИТ: (1) средства измерения длины; (2) средства измерения плоского угла; (3) дефектоскопы и толщиномеры.

Ключевые слова: средства измерительной техники, метрологические характеристики, метрологическое обеспечение, геометрические средства измерений, судоремонтный завод, приборы.

ANALYSIS OF THE STATE OF GEOMETRIC MEASUREMENTS AT A COMPANY LLC "SHIPYARD PERSEY"

E.A. Shulga¹ student, M.N. Belaya² cand. sc. tech

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian
Federation, 299053, elizaveta.shul@yandex.ru

²FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian
Federation, 299053, belaya_079@mail.ru

Abstract

On the territory of the city of Sevastopol there are 12 ship repair enterprises, including Perseus Ship Repair Plant LLC. In its activity, the Persey Shipyard provides a variety of works, ranging from the overhaul of the vessel to the repair of efficient things on it. In the process of re-installation, a very important role is played by the process of measuring the geometric parameters of structural elements.

The article analyzes the state of measuring instruments for geometric quantities at the ship repair enterprise LLC Perseus Ship Repair Plant. The analysis of the state of metrological support of geometric measurements, the article considers it as a way to study the properties of metrological support of geometric measurements in order to develop solutions aimed at maintaining and improving the level of metrological support at the Perseus Ship Repair Plant LLC. For each measuring instrument, metrological characteristics are presented, as well as the purpose of the SIT. In total, three main groups of geometric SITs were identified: (1) length measuring instruments; (2) flat angle measuring instruments; (3) flaw detectors and thickness gauges.

Keywords: measuring instruments, metrological characteristics, metrological support, geometric measuring instruments, ship repair plant, devices.

Анализ состояния измерений, контроля и испытаний на предприятии ООО «Судоремонтный завод «Персей» (СРЗ «Персей») проводит-

ся в целях установления соответствия достигнутого уровня метрологического обеспечения современным требованиям производства и раз-

работки на этой основе предложений по планированию его дальнейшего развития, создания или внедрения методов и средств измерений, испытаний, контроля, необходимых для интенсификации производства, создания и внедрения новых видов техники и технологии, улучшения качества предоставляемых услуг, повышения достоверности результатов измерений при контроле условий труда, рационального использования материальных, энергетических и трудовых ресурсов [1].

Результаты анализа состояния измерений, контроля и испытаний на предприятии СРЗ «Персей» являются основой для оценки состояния измерений на предприятии для официального удостоверения наличия условий, необходимых для выполнения измерений, контроля и испытаний.

На предприятии СРЗ «Персей» для выполнения измерений, контроля и испытаний используется огромный ряд средств измерительной техники, которые условно можно разделить на следующие виды измерений:

- измерения механических величин;
- измерения геометрических величин;
- измерений электрических величин, магнитных величин, радиотехнические и радиоэлектронные измерения;
- теплофизические и температурные измерения;
- измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ.

Рассмотрим подробнее СИТ для измерения геометрических величин.

К средствам измерения длины относятся:

1) меры длины концевые:

– набор мер длины концевых плоскопараллельных (набор КМД), предназначен для использования в качестве эталонов сравнения и рабочих эталонов в области линейных измерений, для поверки и градуировки измерительного инструмента и приборов, для настройки приборов для линейных измерений всех типов.

В качестве примера возьмем набор КМД №1 с классом точности 3, представленный на рис. 1, с метрологическими характеристиками, представленными в таблице 1 [2].

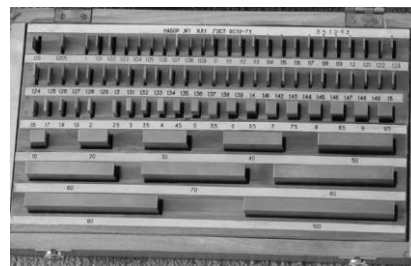


Рис. 1. Набор мер длины концевых плоскопараллельных типа 3-Н1

Таблица 1. МХ набора КМД типа 3-Н1

Градация мер, мм	Номинальные значения длины мер, мм	Число мер	Класс точности наборов	
			из стали	из тв. сплава
—	1,005	1	0; 1; 2 и 3	1; 2 и 3
0,01	От 1 до 1,5 вкл.	51		
0,1	От 1,6 до 2 вкл.	5		
0,5	0,5	1		
	От 2,5 до 10	16		
10	От 20 до 100 вкл.	9		

2) Меры длины штриховые

– линейки измерительные металлические предназначены для абсолютных измерений линейных размеров путем непосредственного сравнения со шкалой (рис. 2) [3].

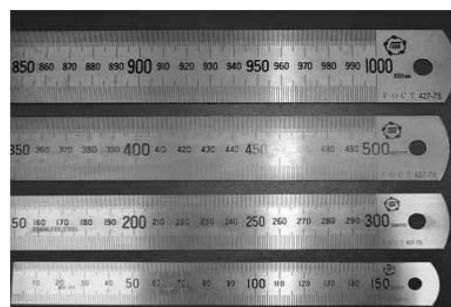


Рис. 2. Набор линеек металлических

Таблица 2. Метрологические характеристики линеек металлических

Наименование характеристики	Значение
Пределы измерений линеек	150; 300; 500; 1000; 1500; 2000; 3000
Допускаемое отклонение от номинальных значений длины шкалы и расстояния между любым штрихом и началом или концом шкалы, мм:	

- до 300 мм включ.	$\pm 0,10$
- св. 300 до 500 мм включ.	$\pm 0,15$
- св. 500 до 1000 мм включ.	$\pm 0,20$
- св. 1000 до 1500 мм включ.	$\pm 0,25$
- св. 1500 до 2000 мм включ.	$\pm 0,30$
- св. 2000 до 3000 мм включ.	$\pm 0,60$
Допускаемое отклонение от номинальных значений длин сантиметровых делений шкалы, мм	$\pm 0,10$
Допускаемое отклонение от номинальных значений длин миллиметровых делений шкалы, мм	$\pm 0,05$
Допускаемое отклонение от прямолинейности торцевой грани, мм, для линейек с пределами измерений: - 150; 300 и 500 мм - 1000 мм и более	0,04 0,08
Допускаемое отклонение от перпендикулярности торцевой грани к продольному ребру, минут	± 10
Допускаемый просвет между плоскостью линейки и поверочной плитой, не более, мм, для линейек с длиной шкалы 150; 300 и 500 мм 1000 мм свыше 1000 мм	0,5 0,7 1
Шероховатость торцевых граней, Ra, мкм	2,5

3) Инструмент измерительный

– штангенинструменты: штангенциркули; штангенрейсмасы.

Штангенциркули служат для измерения наружных и внутренних размеров, не требующих высокой точности, прочерчивания дуг окружностей и параллельных линий при разметке, для деления окружностей и прямых линий на части и других операций [5].

В качестве примера возьмем ШЦ-I-150-0,1 представленного на рис. 3.

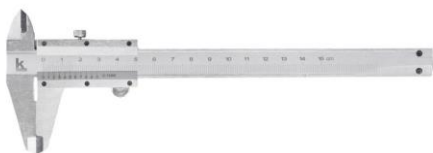


Рис. 3. Штангенциркуль тип ШЦ-I-150-0,1

Таблица 3. Метрологические характеристики ШЦ-I-150-0,1

Наименование характеристики	Значение
Обозначение	ШЦ-I-150-0,1
Тип	I
Диапазон измерения, мм	0 – 150
Значение отсчета по нониусу, мм	0,1
Класс точности	1
Предел допустимой погрешности, мм	$\pm 0,05$

Штангенрейсмасы предназначены для измерения высотных размеров и разметки изделий (рис. 4) [6].



Рис. 4. Общий вид штангенрейсмаса ШР

Таблица 4. Метрологические характеристики ШР-250

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерения, мм	0 – 150
Значение отсчета по нониусу, мм	0,05
Пределы допускаемой абсолютной погрешности, мм	$\pm 0,05$

– микрометры: гладкие микрометры; резьбовые микрометры; рычажные микрометры.

Микрометры (МК) – предназначены для прямого измерения геометрических размеров абсолютным контактным методом.

Гладкие микрометры – измеряют линейные размеры охватываемых деталей (плоских или круглых) (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид гладкого микрометра МК-25

В качестве примера возьмем МК-125 с метрологическими характеристиками:

– диапазон измерений, мм: (100 – 125) мм;

- класс точности: 2;
- предел допустимой погрешности, мкм: $\pm 5,0$;
- допускаемое изменение показаний микрометра от изгиба скобы при усилии 10 Н: 4,0 [7].

Резьбовые микрометры (МВМ) от обычных отличаются наличием гнезд в пятке и шпинделе микрометрического винта, необходимых для крепления вставок, имеющих специальный профиль резьбы.

В качестве примера возьмем резьбовой микрометр типа МВМ-50 мм (рис. 6), который предназначен для измерения среднего диаметра метрической, дюймовой и трубной резьбы, метрологические характеристики которого представлены ниже.



Рис. 6. Резьбовой микрометр тип МВМ50

Метрологические характеристики МВМ-50:

- диапазон измерения, мм: 25 – 50;
- число пар вставок в наборе, шт: 9;
- шаг (диапазон шагов) метрической резьбы, измеряемой одной парой вставок, мм: 0,7-0,8; 1; 1,5; 2; 3; 3,5; 4; 4,5; 5;
- вставки резьбовые: М 60°;
- цена деления: 0,01;
- погрешности, мм: ± 20 ;
- класс точности: 1;
- измерительное усилие, мм, Н: 5-10.

Рычажные микрометры (МР) применяются преимущественно для относительных измерений, а также для контроля отклонений, которые составляют разницу с заданным размером, предусмотренных техническими нормами у определенных деталей. То есть, МР дает понять, насколько сильно отличается изготовленная деталь от требуемых размеров (рис. 7).



Рис. 7. Рычажный микрометр МР 25

В качестве примера рассмотрим метрологические характеристики МР 25:

- диапазон измерения, мм: 0 – 25;
- диапазон показаний в отсчетном устройстве, мм, не менее: $\pm 0,14$;
- цена деления, мм: 0,02;
- измерительное усилие, Н: 6 ± 1 ;
- колебание измерительного усилия, Н, не более: 1,0;
- пределы допускаемой погрешности, мкм, на участках шкалы, мм:

$\pm 0,03$	± 3
$\pm 0,010$	—
0,10	—
1,00	—

4) Индикаторы и измерительные головки предназначены для относительных замеров и контроля отклонений от заданных параметров эталонных деталей. Метрологические характеристики представлены в таблице 5 [8].

Таблица 5. Метрологические характеристики индикаторов ИЧ02 и ИЧ10

Наименование характеристики	Значение		
	ИЧ02	ИЧ10	
Диапазон измерения, мм	0 – 2	0 – 10	
Цена деления, мм	0,01		
Наибольшее измерительное уси- ление при прямом ходе, Н	1,5		
Класс точности	1	0	
Основная погрешность в пределах, мм, на любом участке шкалы:			
на любом участке диапа- зона измерений, мм	$\Delta 0,1$	6	4
	$\Delta 1$	10	8
во всем диапазоне изме- рений, мм	$\Delta 2$	12	10
	$\Delta 3$	15	10
	$\Delta 5$	16	12
	$\Delta 10$	20	15
	$\Delta 25$	30	22

5) Нутромеры: индикаторные (НИ); микрометрические (НМ) или штихмас.

Данные приборы отличаются друг от друга диапазонами измерений.

Метрологические характеристики двух типов представлены в таблице 6.

Таблица 6. Метрологические характеристики НИ и НМ

Наименование характеристики	Значение		
	НИ-160	НМ 600	
Диапазон измерения, мм	100 – 160		75 – 600
Цена деления, мм	0,01		
Класс точности	1	2	0; 1
Предел допускаемой погрешности, мм	0,015	0,018	±0,003
Наибольшая глубина измерения, мм, не менее	300		-
Наименьшая величина перемещения стержня, мм	4,0		-
Радиус сферы	30,0 – 40,0	16,0 – 25,0	

К средствам измерения плоского угла относятся: Квадрант оптический – прибор, при помощи которого можно с высокой точностью определять угол наклона плоскости или поверхности к некоторой эталонной линии.

Рассмотрим тип КО-10, его изображение представлено на рис. 8, а метрологические характеристики – в таблице 7.

**Рис. 8.** Квадрант оптический тип КО-10**Таблица 7.** Метрологические характеристики КО-1

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений углов по лимбу	0° – 360°
Предел допустимой абсолютной погрешности измерений	±10
Цена деления шкалы	
отсчётного устройства	10''
основного уровня	15''
поперечного уровня	4'
лимба	20'
наружной шкалы	5°

Также к данному типу относятся такие средства измерения:

- 2) Угольники.
- 3) Уровни строительные [4].

Дефектоскоп – устройство, предназначенное для обнаружения скрытых дефектов в твердых изделиях. С его помощью можно оценить однородность структуры изделия, наличие на его поверхности послаблений в результате коррозии, отклонения химического состава или наличие микротрещин.

– дефектоскоп ультразвуковой или акустический (рис. 9).

**Рис. 9.** Дефектоскоп ультразвуковой УСД-50

Предназначен для контроля продукции на наличие дефектов (обнаружения дефектов) типа нарушение сплошности и однородности различных материалов, полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, для измерения глубины и координат залегания дефектов, измерения толщины изделий и скорости распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в материале, с использованием пьезоэлектрических преобразователей работающих на частотах от 0,5 до 15 МГц.

Магнитопопорошковый дефектоскоп на постоянных магнитах (рис. 10).

**Рис. 10.** Дефектоскоп магнитопорошковый на постоянных магнитах NOVOTEST МПД-DC

Данное устройство используется для проведения оперативного магнитопорошкового контроля в труднодоступных местах, объектов сложной формы и в случае, когда электрическое питание контролирующего оборудования запрещено по нормативным документам или невозможно.

Толщиномер ультразвуковой, предназначен для измерения толщины изделий, изготов-

ленных из конструкционных металлических сплавов и неметаллических материалов при одностороннем доступе, и при значениях скорости распространения продольных УЗК в диапазоне от 1000 до 9999 м/с, а также скорости УЗК в изделиях известной толщины (рис. 11).



Рис. 11. Толщиномер ультразвуковой тип ТЭМП-УТ1

Толщиномер покрытий типа AR 931 (рис. 12) позволяет точно и быстро измерить толщину покрытия методом неразрушающего контроля.



Рис. 12. Толщиномер покрытий тип AR 931

Список литературы

1. МИ2240-98. ГСИ. Анализ состояния измерений, контроля и испытаний на предприятии, в организации, объединении. Методика и порядок проведения работы. – Введ. 01.01.1998. – М.: ВНИИМС, 1998. – 51с.
2. ГОСТ 9038-90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. – Введ. 1991-07-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 12с.
3. ГОСТ 427-75. Линейки измерительные металлические. Технические условия. – Введ. 1977-01-01. – М.: Стандартиформ, 2005. – 7с.
4. ГОСТ 8.016-81. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений плоского угла. Введ. – 1982-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 7с.
5. ГОСТ 166-89. Штангенциркули. Технические условия. Введ. – 1991-01-01. – Б.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 19с.
6. ГОСТ 164-90 Штангенрейсмасы. Технические условия. – Введ. - 1991-01-01. - М.: Стандартиформ, 2009. – 15с.
7. ГОСТ 6507-90 Микрометры. Технические условия. Введ. - 1991-01-01. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 21с.
8. ГОСТ 577-68 Межгосударственный стандарт. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. – Введ. - 1968-0-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 11с

Для метрологического обеспечения на СРЗ «Персей» действует отдел технического контроля (ОТК) в котором под руководством главного инженера непосредственно выполняет данные обязанности инженер по метрологии. Для достижения данной цели к основным обязанностям инженера по метрологии относятся:

- следит за техническим состоянием контрольно-измерительных приборов, и устанавливать их периодичность проверок и разрабатывает календарные графики их проведения;
- ведение работ по метрологической экспертизе конструкторской и технологической документации, которая разрабатывается и внедряется на предприятии;
- контролирует состояние и правильность монтажа, установки и применения средств измерений, техническую приемку вновь поступающих на предприятие измерительных средств;
- ведет и составляет отчеты о выполнении планов метрологического обеспечения производства.

Также, на предприятии возможна внутренняя калибровка контрольно-измерительных (КИП) приборов, принадлежащих предприятию. Калибровка проводится по эталонам, осуществляется ОТК, а именно инженером по метрологии и по завершении составляется Акт о внутренней калибровки. Представленная процедура может так же использоваться при разработке системы менеджмента качества как документированная процедура.

References

1. MI2240-98. GSI. Analysis of the state of measurements, control and tests at the enterprise, organization, association. Methodology and procedure for the work. - Enter. 01/01/1998. - M.: VNIIMS, 1998. - 51 p.
2. GOST 9038-90. End measures are plane parallel. Technical conditions - Enter. 1991-07-01. - M.: IPK Publishing House of Standards, 2004. - 12 p.
3. GOST 427-75. Rulers measuring metal. Technical conditions - Enter. 1977-01-01. - M.: Standartinform, 2005. - 7 p.
4. GOST 8.016-81. State system for ensuring the uniformity of measurements (GSI). State primary standard and state calibration chart for flat angle measuring instruments. Enter - 1982-07-01. - M.: Publishing house of standards, 1981. - 7 p.
5. GOST 166-89. Vernier calipers. Technical conditions Enter - 1991-01-01. - L.: IPK Publishing house of standards, 2003. - 19 p.
6. GOST 164-90 Shtangenreysmasy. Technical conditions - Enter. - 1991-01-01. - M.: Standartinform, 2009. - 15 p.
7. GOST 6507-90 Micrometers. Technical conditions Enter - 1991-01-01. - M.: IPK Publishing House of Standards, 2004. - 21 p.
8. GOST 577-68 Interstate standard. Indicators of the watch type with a division price of 0.01 mm. Technical conditions. - The Vedas. - 1968-0-01. - M.: IPK Publishing House of Standards, 2000. - 11 p.

УДК 006.44

ОБЗОР НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ В СФЕРЕ СЕРВИСНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

А.В. Малов¹ аспирант, М.В. Лапа² канд. техн. наук

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: AVMalov@sevsu.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: siver_info@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена обзору законодательной и нормативной базы США, Японии, ЕС, Российской Федерации в сфере искусственного интеллекта и в частности робототехники. Рассмотрены нормативные документы Международной организации ISO. Особенностью стандартизации в этой сфере является то, что исследование, разработка и внедрение систем искусственного интеллекта, робототехники опережает разработку стандартов и нормативов качества. Рассмотрены особенности регулирования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), и, автономных транспортных средств, классификация роботов. Отмечены риски для общества, связанные с недостаточной нормативной и законодательной базой в сфере робототехники, необходимость создания отдельного правового статуса для искусственного интеллекта и роботов, учета социальных изменений, вызванных искусственным интеллектом и робототехникой, особенно на рынках труда, изучения новых моделей занятости, а также жизнеспособности нынешних налоговых и социальных систем для робототехники

Ключевые слова: робототехника, искусственный интеллект, сервисный робот, стандартизация, качество, классификация, законодательная база, дерегулирование.

OVERVIEW OF THE REGULATORY FRAMEWORK FOR SERVICE ROBOTICS

A.V. Malov¹ student, M.V. Lapa² cand. sc. tech

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, AVMalov@sevsu.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, siv_info@mail.ru

Abstract

The article is devoted to a review of the legislative and regulatory framework of the United States, Japan, the EU, and the Russian Federation in the field of artificial intelligence and, in particular, robotics. The regulatory documents

of the International Organization of ISO are considered. A feature of standardization in this area is that research, development and implementation of artificial intelligence systems, robotics ahead of the development of standards and quality standards. The features of regulation of unmanned aerial vehicles (UAVs), and autonomous vehicles, the classification of robots are considered. The risks to society associated with the insufficient regulatory and legislative framework in the field of robotics, the need to create a separate legal status for artificial intelligence and robots, take into account social changes caused by artificial intelligence and robotics, especially in labor markets, study of new employment models, as well as vitality are noted. current tax and social systems for robotics.

Keywords: robotics, artificial intelligence, service robot, standardization, quality, classification, legal framework, de-regulation.

В последнее время правительство и нормотворческие органы во всем мире уделяют все большее внимание необходимости разработки законодательной и нормативной базы в расширяющейся области искусственного интеллекта и робототехники. В связи с растущим использованием этих технологий в широком спектре экономических сфер. На данном этапе развития в этой области активно вводятся новые законы, нормативные акты и стандарты качества. Особое внимание мировое сообщество уделяет правам интеллектуальной собственности и качеству продукции.

Большой вклад в создание научно-технической базы по проблеме роботов и разработку теоретических основ робототехники в России внесли академики И.М. Макаров, Д.Е. Охочимский, а также известные ученые и специалисты М.Б. Игнатъев, Д.А. Поспелов, А.Б. Кобринский, Г.Н. Рапопорт, В.С. Гурфинкель, Н.А. Лакота, Ю.Г. Козырев, В.С. Кулешов, Ф.М. Кулаков, В.С. Ястребов, Е.Г. Нахапетян, А.В. Тимофеев, В.С. Рыбак, М.С. Ворошилов, А.К. Платонов, Г.П. Катус, А.П. Бессонов, А.М. Покровский, Б.Г. Аветиков, А.И. Корендяев и др.

На данный момент в Европейском союзе в рамках программы «Horizon 2020», которая рассчитана на период с 2014 по 2020 годы, действует частно-государственный проект под названием «SPARC». В рамках данного проекта разработана дорожная карта, которая является основой политики ЕС в сфере развития робототехники. Она направлена на корректировку и создание стандартов ISO в сфере робототехники, стандартизацию, использование механизма директив ЕС и защиту потребителей.

Основными документами Международной организации по стандартизации являются стандарты ISO 8373:2012; ISO 10218-1:2011; ISO 10218-2:2011; ISO 15745:2003; ISO 15704:2000.

Комитет по правовым вопросам Европейской комиссии недавно опубликовал доклад, призывающий к общеевропейским правилам, регулирующим искусственный интеллект и ро-

бототехнику [1]. Докладчик Мэди Дельво говорит: «Все больше областей нашей повседневной жизни страдают от робототехники. Для того, чтобы учесть эту реальность и обеспечить, чтобы и дальше служили людям, нам необходимо срочно создать надежную европейскую правовую базу».

Комитет внес определенные предложения и рекомендации, рассмотренные ниже.

Регулятор - новое общеевропейское агентство по регулированию искусственного интеллекта и робототехники с обязательной регистрацией «умных автономных роботов».

Правовой статус или личность - создание отдельного правового статуса для искусственного интеллекта и роботов.

Социальное воздействие - признавая потенциал «больших социальных изменений», вызванных искусственным интеллектом и робототехникой, особенно на рынках труда, Комитет настоятельно призывает Комиссию внимательно следить за такими тенденциями и изучить новые модели занятости, а также жизнеспособность нынешних налоговых и социальных систем для робототехники.

Страхование - обязательная схема страхования для покрытия вреда и ущерба, причиненного искусственным интеллектом и роботами. Кроме того, следует создать фонд для обеспечения компенсации жертвам в случае аварий, вызванных машинами без водителя.

Кодекс поведения - руководство для инженеров, охватывающее этический дизайн, производство и использование роботов, в том числе включение выключателей «убивать», чтобы роботы могли быть отключены в чрезвычайных ситуациях.

Комитет выделяет автомобили без водителя как «неотложную необходимость» в новом своде правил, в идеале глобальном, поскольку фрагментированный подход к регулированию может «затруднить внедрение и поставить под угрозу конкурентоспособность Европы».

Британский комитет по общественным наукам и технологиям Великобритании также

опубликовал в октябре прошлого года доклад об искусственном интеллекте и робототехнике [2]. В докладе делается вывод о том, что, хотя робототехника и ИИ потенциально способны кардинально изменить наш образ жизни и работу, правительство еще не имеет адекватной стратегии и призывает создать комиссию для изучения социальных, этических и правовых последствий в этой развивающейся области.

Доктор Тая Вин Матиас, временный председатель комитета, сказала: «Отсутствует государственное руководство в области робототехники и искусственного интеллекта. Некоторые крупные технологические компании, в том числе Google и Amazon, недавно объединились, чтобы сформировать «Партнерство по ИИ». Отрадно, что сектор думает о рисках и выгодах ИИ, но это не освобождает правительство от его обязанностей. Ему следует создать «Комиссию по искусственному интеллекту», чтобы определить принципы управления разработкой и применением искусственного интеллекта и способствовать общественным дебатам».

Соединенные Штаты не имеют и в настоящее время не рассматривают комплексный национальный подход к искусственному интеллекту и связанным с ним технологиям. Как государственный, так и частный секторы исследуют, разрабатывают и внедряют искусственный интеллект, робототехнику и автоматизацию со скоростью, намного превышающей разработку стандартов и нормативов качества.

Основная часть руководящих указаний федерального агентства, законодательства штата и судебных решений сосредоточена на двух технологиях: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), также называемые беспилотными летательными аппаратами, и, в последнее время, автономные транспортные средства (то есть, автомобили с автоматическим управлением). БПЛА представляют особый интерес для их использования в военных и правоохранительных органах.

По состоянию на январь 2017 года тридцать три штата приняли законы о беспилотных летательных аппаратах [3], а двадцать штатов рассмотрели законы об автономных транспортных средствах [4].

В июне 2016 года Федеральное управление гражданской авиации издало постановление о беспилотных летательных аппаратах, в котором указываются параметры того, где, когда и как могут использоваться беспилотные летательные аппараты. Среди других ограничений, FAA требует визуальной линии прямой видимости между удаленным пилотом и беспилотником [4].

Министерство транспорта и Национальная администрация безопасности дорожного движения совместно выпустили необязательное руководство в сентябре 2016 года по автономным транспортным средствам, включая сообщения для разработчиков и типовую государственную политику [6].

Наконец, администрация президента США Барака Обамы почти в конце своего срока полномочий в 2016 году опубликовала доклад под названием «Подготовка к будущему искусственного интеллекта» [7] и соответствующий национальный стратегический план по исследованиям и разработкам искусственного интеллекта [8]. Планы были составлены на основе пяти семинаров, проведенных в течение года.

Правительство Японии признает необходимость реформирования нормативно-правовой базы роботов и разработало «Стратегию роботов Японии» и в 2015 году представило Инициативу революции роботов (RRI).

«Стратегия робототехники Японии», разработанная Министерством экономики, торговли и промышленности Японии (METI), представляет собой серию политик по регулированию робототехники на основе пятилетнего стратегического плана. Он нацелен на то, чтобы Япония продолжала поддерживать свою репутацию сверхдержавы в области робототехники с помощью методологий регулирования и дерегулирования, которые хорошо сбалансированы и поддерживают стандарты безопасности для защиты потребителей. В этом плане METI поощряет использование основных технологий, таких как искусственный интеллект, для разработки «роботов следующего поколения» в различных секторах. Существует также Совет по реализации революции роботов, отвечающий за пересмотр существующих японских законов в свете этих быстро развивающихся роботизированных технологий. Эти законы включают, в частности, Закон о радиосвязи, Закон о фармацевтических препаратах и медицинских устройствах, Закон о промышленной безопасности и охране здоровья, Закон о дорожном движении, Закон о дорожном транспорте, Закон о гражданской авиации, Закон о безопасности потребительских товаров и Стандарт безопасности ISO 13482:2014 "Robots and robotic devices — Safety requirements for personal care robots" - для роботов, поддерживающих жизнь. Подобно Соединенным Штатам, Япония также рассматривает меры по регулированию работы необитаемых роботов воздушного типа (БПЛА).

В результате своих исследований Совет по реализации революции роботов рекомендовал реформу регулирования в соответствии со своими руководящими принципами, известными как «Реализация реформы регулирования роботов». Эти руководящие принципы предусматривают следующее: правовую основу для защиты потребителей и, в то же время, новую правовую систему или упрощение действующих правил («дерегулирование») для эффективного использования роботов. Так, например, следует поощрять проведение полевых испытаний для роботов, и это является формой дерегулирования, разработанной для того, чтобы регуляторные органы и производители могли обнаружить непредвиденные риски, связанные с роботами, до фактической реализации.

Японские университеты также проводят научные исследования, и были предложены рекомендации для законов о роботах. Например, совместное исследование Института гуманоидной робототехники при Университете Васэда и Юридической школы Пекинского университета предлагает трехуровневую иерархию «Закона о роботах», включающую:

(i) «Закон об управлении безопасностью роботов» для расширения правил техники безопасности роботов,

(ii) «Закон о гуманоидной морали», регулирующий отношения между людьми и роботами,

(iii) «Пересмотры», являющиеся необходимыми изменениями в существующих японских законах для обеспечения того, чтобы они не вступали в конфликт с этими передовыми робототехническими технологиями.

Согласно оценке правительства, опубликованной в Japan Times в апреле 2016 года, «ожидается, что к 2045 году технологии искусственного интеллекта принесут в Японии около 121 триллиона иен». [9] В результате этого ожидаемого быстрого роста правительство Японии также планирует ввести некоторые базовые правила для исследований и разработок ИИ, которые будут сосредоточены на защите конфиденциальности и ответственности разработчиков.

Все вышесказанное согласуется с усилиями премьер-министра Синдзо Абэ по оживлению японской экономики с помощью так называемой «абеномики», которая, помимо прочего, способствует использованию робототехники и искусственного интеллекта. Без сомнения, Японии потребуется некоторое время для внедрения сложного правового режима робототехники, но будет ли это спасительной грацией

«Абеномики», которая на сегодняшний день, возможно, замедлила экономический рост и способствовала продолжению дефляции.

История становления робототехники на территории СССР берет свое начало в 30-х годах прошлого века, когда был создан робот, который мог двигать рукой. На протяжении следующих 50 лет именно промышленная робототехника в стране имела довольно стремительное развитие. В 1980 году в СССР количество промышленных роботов превышало 6000 штук, что составляло 20% всех роботов в мире [1]. Данный факт подталкивал правительство на создание законодательства в сфере робототехники. Первым регулирующим актом можно считать Постановление Госстандарта от 14 октября 1982 г. № 3966 «Общие положения роботизации». Данные методические рекомендации дают общие рекомендации по созданию и применению промышленных роботов. Вследствие, советскими властями активно развивалось законодательство в сфере промышленной робототехники. Одним из первых государственных стандартов на территории СССР стал ГОСТ 25685-83 «Роботы промышленные. Классификация», который был введен в 1984 году, и ряд иных нормативных государственных стандартов. Можно сделать вывод, что в Советском Союзе законодательство в сфере качества было полностью ориентировано на промышленных роботов. Это было связано с тем, что в то время понятия сервисной робототехники официально не существовало. Документ, который классифицировал роботов на промышленных и сервисных считается ISO 8373:2012. В данном документе, также существует классификация сервисных роботов, которые делятся на два типа:

- для персонального использования - то те роботы, которых приобретают для использования в повседневной жизни;

- для профессионального использования — это роботы, которые приобретаются для применения с целью извлечения выгоды при оказании различных услуг.

Идентичным ISO 8373:2012 является ГОСТ Р ИСО 8373-2014, который был введен в 2016 в России.

Одним из значимых событий в области стандартизации робототехники является создание Технического комитета по стандартизации «Робототехника» (ТК 141) в 2016 году. Комитет был создан с целью повышения эффективности работ по стандартизации в области разработки, производства и использования робототехнических комплексов. Задачи, функции и

обязанности комитета закреплены в приказе от 1 сентября 2016 г. № 1246 «О создании технического комитета по стандартизации «Робототехника» [11].

На сегодняшний день Техническим комитетом был разработан комплекс национальных стандартов «Роботы и робототехнические устройства», которые относятся к классу (стандарты ЕКСД) 60. В 2018 году данные стандарты были утверждены и введены в действие. Рассмотрим основные из них.

1. ГОСТ Р 60.0.0.1-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Общие положения». В данном стандарте приведены состав и обозначения комплекса стандартов «Роботы и робототехнические устройства».

2. ГОСТ Р 60.0.0.2-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Классификация». Данный документ был выпущен взамен ГОСТ 25685-83 «Роботы промышленные. Классификация». Стандарт впервые в России классифицирует роботов на промышленных и сервисных. Сервисные роботы классифицируют по области применения и возможности передвижения.

3. ГОСТ Р 60.0.0.3-2016 «Системы координат и обозначение перемещений». Данный стандарт идентичен международному ISO 9787:2014 «Robots and robotic devices - Coordinate systems and motion nomenclatures». Документ устанавливает и определяет системы координат робототехники, а также определяет типы основных перемещений роботов.

4. ГОСТ Р 60.0.0.4-2016 «Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения». Документ идентичен стандарту ISO 8373:2012 «Robots and robotic devices - Vocabulary» и раскрывает основные термины в области робототехники.

На сегодняшний день в России действует несколько десятков различных стандартов в области искусственного интеллекта и робототехники, однако 80% из них посвящены промышленным роботам и лишь несколько документов относятся к области сервисной робототехники. К таким стандартам относятся такие документы:

- ГОСТ Р 60.0.0.2-2016. «Роботы и робототехнические устройства. Классификация»;
- ГОСТ Р 60.2.2.1-2016, Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для роботов по персональному уходу;
- ГОСТ Р 60.6.3.1-2019. Роботы и робототехнические устройства. Методы испытаний сервисных мобильных роботов для работы в

экстремальных условиях. Термины и определения.

Нормативная база технического регулирования в сфере сварочного производства регламентируется следующими стандартами:

- ГОСТ 26054-85 Роботы промышленные для контактной сварки. Общие технические условия;
- ГОСТ 26056-84, Роботы промышленные для дуговой сварки. Общие технические условия (с Изменениями N 1);
- ГОСТ 27387-87. Роботы промышленные для контактной точечной сварки. Основные параметры и размеры.

Стоит отметить, что в области сварочного производства все стандарты относятся исключительно к промышленным роботам. Нормативных актов для сервисных роботов в данной сфере, на данный момент, не существует.

На данный момент Росстандартом разработан, но не введен в действие, ГОСТ Р 58777-2019 "Воздушный транспорт. Аэропорты. Технические средства досмотра. Методика определения показателей качества распознавания незаконных вложений по теневым рентгеновским изображениям", который позволит установить единые требования к системам и алгоритмам распознавания незаконных вложений в багаже и ручной клади по теневым рентгеновским изображениям, а также повысить достоверность результатов испытаний систем и алгоритмов. В приложениях к стандарту приведены интегральные показатели качества обнаружения незаконных вложений с помощью систем технического зрения. Данный стандарт вступит в силу 1 сентября 2020 года, это первый стандарт в РФ, в котором упоминается системы технического зрения. Наиболее универсальный стандарт для систем технического зрения в данный момент является EMVA1288-3.0 "Standard for Characterization of Image Sensors and Cameras", который разработан Европейской ассоциацией машинного зрения. Данный стандарт создает прозрачность, определяя надежные и точные процедуры измерения, а также принципы представления данных, что значительно упрощает сравнение камер и датчиков изображения. Стандарт может применяться ко всем камерам технического зрения. Стандартный формат данных включает в себя кривую передачи фотонов, кривую отношения сигнал / шум и список измеренных параметров. Опираясь на этот стандарт, пользователи могут сравнивать камеры в соответствии с параметрами, наиболее важными для их конкретного применения.

Заключение

Специфика роботов поднимает определенный ряд вопросов в области стандартизации и качества, которые возникают в обществе в связи с активным развитием этой технологии. Мировое сообщество активно работает над ре-

гулированием и стандартизацией робототехники, однако на сегодняшний день вопросы разработки и эксплуатации сервисных роботов требуют усовершенствования нормативной и законодательной базы, в частности для систем технического зрения сервисных роботов для подводной сварки.

Список литературы

1. Robots: Legal Affairs Committee calls for EU-wide rules [Электронный ресурс] // European Parliament, 2017. URL: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20170110IPR57613/robots-legal-affairs-committee-calls-for-eu-wide-rules> (дата обращения 19.01.2020).
2. Robotics and artificial intelligence Fifth Report of Session 2016–17 [Электронный ресурс] // Science and Technology Committee, 2016. URL: <https://publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmsctech/145/145.pdf> (дата обращения 26.01.2020).
3. Current Unmanned Aircraft State Law Landscape [Электронный ресурс] // National Conference of State Legislatures, 2018, URL: <https://www.ncsl.org/research/transportation/current-unmanned-aircraft-state-law-landscape.aspx> (дата обращения 28.01.2020).
4. Autonomous Vehicles | Self-Driving Vehicles Enacted Legislation [Электронный ресурс] // National Conference of State Legislatures, 2020, URL: <https://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx> (дата обращения 20.02.2020).
5. Top Trends Robotics 2020 [Электронный ресурс] // International Federation of Robotics, 2020, URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/top-trends-robotics-2020> (дата обращения 27.02.2020).
6. Federal Automated Vehicles Policy [Электронный ресурс] // U.S. Department of Transportation, 2016, URL: <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/AV%20policy%20guidance%20PDF.pdf> (дата обращения 05.02.2020).
7. PREPARING FOR THE FUTURE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE [Электронный ресурс] // Executive Office of the President National Science and Technology Council Committee on Technology, 2016, URL: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf (дата обращения 25.01.2020).
8. THE NATIONAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH AND DEVELOPMENT STRATEGIC PLAN [Электронный ресурс] // National Science and Technology Council Networking and Information Technology Research and Development Subcommittee, 2016, URL: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/national_ai_rd_strategic_plan.pdf (дата обращения 25.01.2020).
9. Japan to propose basic rules for AI research at G-7 meeting [Электронный ресурс] // The Japan Times, 2016, URL: <http://www.japantimes.co.jp/news/2016/04/15/national/japan-propose-basic-rules-ai-research-g-7-meeting/#.WLPLtU1PonV> (дата обращения 05.02.2020).
10. Subhajit Basu, Adekemi Omotubora, Matt Beeson, Charles Fox. Legal framework for small autonomous agricultural robots, 2018. P. 18-19. doi: 10.1007/s00146-018-0846-4.
11. О внесении изменений в приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 сентября 2016 г. N 1246 "О создании технического комитета по стандартизации "Робототехника" [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации, URL: <http://docs.cntd.ru/document/555631957> (дата обращения: 10.02.2020).

References

1. Robots: Legal Affairs Committee calls for EU-wide rules [Electronic resource] // European Parliament, 2017. URL: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20170110IPR57613/robots-legal-affairs-committee-calls-for-eu-wide-rules> (accessed 01/19/2020).
2. Robotics and artificial intelligence Fifth Report of Session 2016–17 [Electronic resource] // Science and Technology Committee, 2016. URL: <https://publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmsctech/145/145.pdf> (date of treatment 01/26/2020).
3. Current Unmanned Aircraft State Law Landscape [Electronic resource] // National Conference of State Legislatures, 2018, URL: <https://www.ncsl.org/research/transportation/current-unmanned-aircraft-state-law-landscape.aspx> (accessed 1/28/2020).
4. Autonomous Vehicles | Self-Driving Vehicles Enacted Legislation [Electronic resource] // National Conference of State Legislatures, 2020, URL: <https://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislation.aspx> (access date 02/20/2020).

5. Top Trends Robotics 2020 [Electronic resource] // International Federation of Robotics, 2020, URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/top-trends-robotics-2020> (accessed 02.27.2020)
6. Federal Automated Vehicles Policy [Electronic resource] // U.S. Department of Transportation, 2016, URL: <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/AV%20policy%20guidance%20PDF.pdf> (accessed 05.02.2020).
7. PREPARING FOR THE FUTURE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE [Electronic resource] // Executive Office of the President National Science and Technology Council Committee on Technology, 2016, URL: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/preparing_for_the_future_of_ai.pdf (accessed 01.25.2020).
8. THE NATIONAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE RESEARCH AND DEVELOPMENT STRATEGIC PLAN [Electronic resource] // National Science and Technology Council Networking and Information Technology Research and Development Subcommittee, 2016, URL: https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/whitehouse_files/microsites/ostp/NSTC/national_ai_rd_strategic_plan.pdf (accessed 01.25.2020).
9. Japan to propose basic rules for AI research at G-7 meeting [Electronic resource] // The Japan Times, 2016, URL: <http://www.japantimes.co.jp/news/2016/04/15/national/japan-propose-basic-rules-ai-research-g-7-meeting/#.WLPLtU1PonV> (accessed 02/05/2020)
10. Subhajit Basu, Adekemi Omotubora, Matt Beeson, Charles Fox. Legal framework for small autonomous agricultural robots, 2018. P. 18-19. doi: 10.1007 / s00146-018-0846-4.
11. On amendments to the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of September 1, 2016 N 1246 "On the establishment of the technical committee for standardization" Robotics "[Electronic resource] // Electronic Fund of Legal and Normative and Technical Documentation, URL : <http://docs.cntd.ru/document/555631957> (accessed: 02/10/2020).

РАЗДЕЛ 5. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРИИ

УДК 621.039

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000М ЯЭУ С ВВЭР С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.А. Дюдяев¹, В.В. Майорова², Ю.В. Браславский³

¹Студент 2 курса специальности: Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия, ntv5.5@mail.ru;

²Студент 2 курса специальности: Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия, vmaiorova0801@outlook.com;

³К.т.н., доцент, доцент кафедры «Ядерные энергетические установки», ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия;

Аннотация

Главным условием безопасности для человека и окружающей среды является надежность проектируемых и используемых высокотехнологических объектов, таких как АЭС. Основными факторами, влияющими на надежность объекта, являются отсутствие ошибок в конструировании и расчете систем, правильность выбора материалов и технологии производства, качество используемых компонентов и монтажно-сварочных работ, а также соблюдение условий эксплуатации и эксплуатационного контроля. Несмотря на то, что при проектировании и эксплуатации АЭС повышенное внимание уделяется обеспечению надежности, опыт эксплуатации показал, что в сварном соединении №111 парогенератора ПГВ-1000М может иметь место формирование трещин. Кроме того, механизм возникновения и увеличения этих трещин все еще окончательно не определен.

Горизонтальные парогенераторы (ПГ), которые применяются на АЭС с ВВЭР, имеют отличия в конструктивной концепции от вертикальных ПГ, используемых на АЭС во многих странах мира. На сегодняшний день на энергоблоках АЭС с ВВЭР используются около 270 ПГ, а также некоторые энергоблоки находятся на этапе строительства. Практика эксплуатации показала, что горизонтальные ПГ имеют некоторые преимущества и с точки зрения безопасности, и надежности. В статье выполнен анализ конструктивной концепции ПГ, которые применяются на АЭС с ВВЭР. Показаны результаты изучения причин разрушения металла в зоне сварного соединения №111 приварки горячего коллектора к патрубку корпуса парогенератора.

Ключевые слова: АЭС, парогенератор, ВВЭР, шов, сварное соединение, T-FLEXCAD, моделирование, коллектор, хомут, кольцо.

ANALYSIS OF THE CAUSES OF DAMAGE TO THE STEAM GENERATOR PGV-1000M NUCLEAR POWER PLANT WITH PWR USING COMPUTER SIMULATION

I.A. Dyudyaev¹, V.V. Mayorova², Yu.V. Braslavskiy³

¹Student of the specialty: "Nuclear power plants: design, operation and engineering", Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, ntv5.5@mail.ru;

²Student of the specialty: "Nuclear power plants: design, operation and engineering", Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, vmaiorova0801@outlook.com;

³K. t. n., associate Professor, associate professor of the department of "Nuclear power plants", Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia;

Abstract

The main condition for human and environmental safety is the reliability of high-tech facilities designed and used, such as nuclear power plants. The main factors affecting the reliability of the object are the absence of errors in the design and calculation of systems, the correct choice of materials and production technology, the quality of components

used and installation and welding operations, as well as compliance with operating conditions and operational control. Despite the fact that in the design and operation of nuclear power plants, increased attention is paid to ensuring reliability, operational experience has shown that cracks may form in the welded joint No. 111 of the PGV-1000M steam generator. In addition, the mechanism for the occurrence and increase of these cracks is still not definitively determined.

Horizontal steam generators (PG), which are used at nuclear power plants with VVER, have differences in the design concept of screw-type PG used at nuclear power plants in many countries of the world. To date, about 270 PG are used at the VVER NPP power units, and some power units are under construction. Operational practice has shown that horizontal tanks have some advantages both in terms of safety and reliability. The article contains an analysis of the design concept of HPS, which are used at nuclear power plants with VVER. The results of studying the causes of metal destruction in the zone of the welded joint No. 111 of the hot collector welding to the branch pipe of the steam generator body are shown.

Keywords: NPP, steam generator, PWR, seam, welded joint, T-FLEX CAD, simulation, collector, clamp, ring.

1. Перечень принятых сокращений

- АЭС – атомная электрическая станция;
- ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;
- БалаАЭС – Балаковская АЭС;
- НВАЭС – Нововоронежская АЭС;
- СС – сварное соединение;
- ПГ – парогенератор;
- ГЦН – главный циркулирующий насос;
- ППР –планово-предупредительный ремонт;

2. Введение

На сегодняшний день компьютерное моделирование стало необходимой частью работы в различных областях жизнедеятельности человека. К примеру, проектирование разнообразных моделей, строительство, дизайн, телевидение, кино, тренажеры для подготовки кадров – во всех этих сферах компьютерное моделирование является незаменимым атрибутом.

Для реализации нужных нам замыслов трехмерное моделирование и анимации все время развиваются и улучшаются, именно поэтому в данной работе мы хотим произвести анализ причин повреждения парогенератора с помощью 3D-моделирования в учебной программе T-FLEXCAD.

Безопасная работа парогенераторов является очень важной задачей для любой АЭС. Лишь при идеальной работе парогенератора в пределах проектных допусков можно добиться необходимого уровня безопасности, экономической эффективности, а также надежности производства электроэнергии на энергоблоке атомной электростанции (рис. 1).

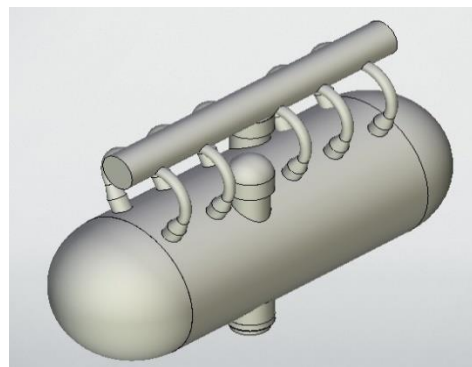


Рис. 1. Парогенератор ПГВ-1000

3. Конструкция

Парогенератор ПГВ-1000М горизонтального типа с поверхностью теплообмена из 11 тыс. U-образных труб, имеющих гибы в горизонтальной плоскости, состоит из концов труб, заделанных в стенки вертикальных цилиндрических камер-коллекторов теплоносителя входного (горячего) и выходного (холодного). Благодаря погруженным и потолочным дырчатым листам паровые нагрузки по сечению выравниваются. Сборный паровой коллектор вынесен за пределы корпуса парогенератора (рис.2).

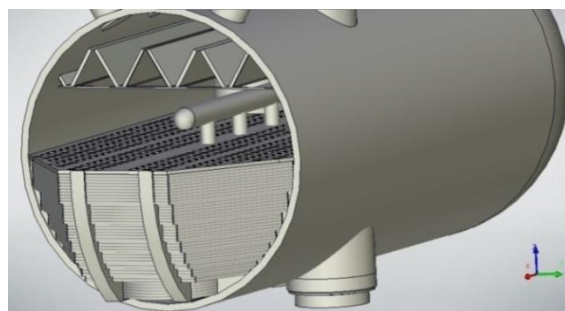


Рис. 2. Конструкция ПГВ-1000.

4. Принцип работы парогенератора для реактора типа ВВЭР

Установка ВВЭР-1000 состоит из главного циркуляционного контура, системы компенсации давления, а также систем аварийного охлаждения. В основной циркуляционный контур входит реактор и четыре рабочих петли, каждая из которых оснащена парогенератором горизонтального типа, циркуляционным насосом и трубопроводом Ду850 (с условным диаметром 850 мм). Энергия топлива отводится от активной зоны с помощью теплоносителя, который прокачивается главными циркуляционными насосами. Далее подогретый носитель транспортируется по трубопроводу в парогенераторы и там передает тепло жидкости второго контура, а затем возвращается в реактор при помощи насоса. Таким образом, сухой насыщенный пар из второго контура передается на турбину (рис. 3).

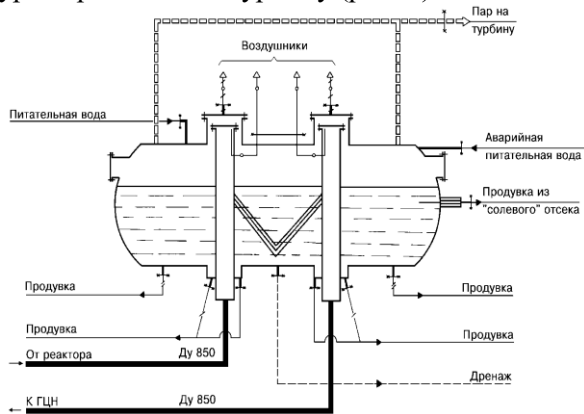


Рис. 3. Схема принципа работы парогенератора.

4. Главные проблемы эксплуатации ПГВ-1000М

Практика эксплуатации парогенераторов ПГВ-1000М показала наличие в ПГ локальных зон концентрирования примесей, где чаще всего появляются повреждения металла. Одним из таких мест является зона между второй и четвертой дистанционирующими решетками, поэтому, когда происходит останов энергоблока, в данное место идет поток нерастворенных примесей. Если же не принимать меры, то эти примеси в ходе последующего пуска энергоблока будут концентрироваться и отлагаться на поверхности теплообменных труб парогенератора, что в итоге приведет к повреждению трубного пучка ПГ (рис. 4).



Рис. 5. Повреждения трубного пучка ПГ.

Еще одной такой зоной является «карман» – кольцевой зазор в узле приварки коллектора первого контура к патрубку Ду1200 (сварное соединение №111) (рис. 6 и 7). Наличие «кармана» определяет непростой характер распределения напряжений в узле, а также способствует накоплению коррозионно-активных продуктов, вследствие чего возникают и развиваются дефекты в сварных соединениях №111. Помимо этого, есть ограничение на доступ к корню сварного соединения №111, в результате чего оценка состояния металла сварного соединения и прилегающей зоны затруднена.

Таким образом, если повреждения в трубном пучке между второй и четвертой дистанционирующими решетками образуются, в большинстве случаев, из-за коррозионно-активных примесей, то повреждения в зоне сварного соединения №111 «карманов» коллекторов помимо этого еще обусловлены механическими напряжениями, которые возникают в данной области.

Первый зарегистрированный случай разрушения металла в районе соединения коллектора с корпусом ПГ произошел в 1998 году на 5 блоке НВАЭС. После данного инцидента были замечены похожие повреждения также еще на нескольких ПГ. Этот случай заставил рассмотреть данные повреждения в виде системной проблемы, которая имеет одни и те же причины.

Парогенератор и коллектор, поврежденный в указанной зоне, изображены на рис. 6 и 7. В ходе осмотра «карманов» коллекторов после вырезки темплетов были обнаружены разные дефекты. Именно они положили начало зародышевым трещинам и образованию отложений в «карманах» коллекторов. Такие же повреждения были выявлены на Южно-Украинской, Нововоронежской и Балаковской АЭС.

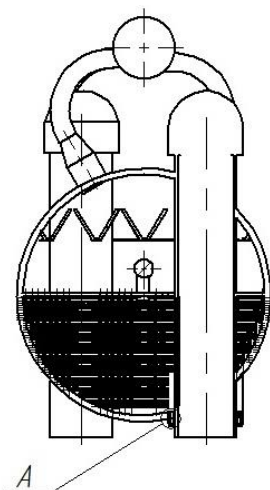


Рис. 6. ПГ в поперечном разрезе.

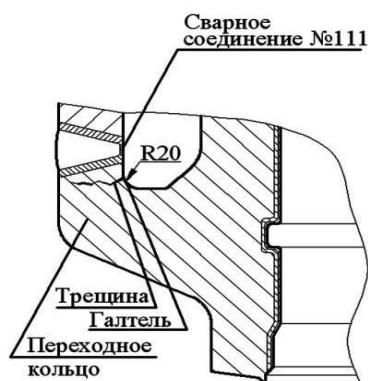


Рис. 7. Сварное соединение №111 ПГ.

К тому же, данные дефекты проявляются и в настоящее время. Это можно обнаружить благодаря ультразвуковому контролю в металле изучаемой зоны. На рис.8 показаны шламовые отложения в «кармане» горячего коллектора ПГ на БалАЭС. Все парогенераторы с данными повреждениями были отремонтированы по отработанной технологии, в результате чего был увеличен срок эксплуатации.



Рис. 8. Шламовые отложения в ПГ.

5. Анализ причин повреждения ПГВ-1000М

Данные причины повреждения СС №111 возникали в результате коррозионного повреждения металла из-за протекания активных процессов, которые привели к образованию язв, распространению трещины в металле по транскристаллитному характеру. Решение проблемы разрушения СС №111 парогенераторов АЭС с ВВЭР-1000 является одной из приоритетных направлений повышения безопасности эксплуатации энергоблока. Данная проблема образовывается вследствие сочетания температурных условий, а также механического и коррозионного воздействия. Она актуальна и в настоящее время и до сих пор окончательно не решена.

На разных стадиях развития трещин, исходя из вида, а также плотности коррозионных продуктов отложений, можно сделать вывод, что формирование дефекта до сквозного было поэтапным и продолжительным (близким к общему сроку эксплуатации парогенератора).

Благодаря фактографическим исследованиям установлено, что появление дефекта на внутренней поверхности сварного соединения в районе радиусного перехода, а также его развитие на глубину от 2 до 3 мм, происходило по такому механизму, как коррозионное растрескивание под напряжением. Кроме того, влияние оказывали и признаки коррозионной усталости. Между начальным этапом формирования дефекта на глубину ~ 2...3 мм и этапом его дальнейшего развития существует переход, являющийся свидетельством смены механизма разрушения. Далее развитие дефекта протекало в основном с коррозионной усталостью и присутствием участков коррозионного растрескивания. Инкубационный период занимал значительное место между первым и вторым этапами развития дефекта.

Существенную роль при первичном разрушении СС сыграли растягивающие напряжения от механических нагрузок (например, давление рабочей среды, вероятное защемление опор после замены ПГ и другие), а также остаточные напряжения (образовались от сварки, ремонтной термообработки, монтажа) при наличии концентраторов в виде рисок и язв. Об этом свидетельствует траектория развития основной (магистральной) трещины. Повторные повреждения доказывают наличие больших остаточных технологических напряжений, прежде всего, от термообработки при ремонте.

ОКБ «ГИДРОРЕСС» была проведена предварительная оценка критических и допустимых размеров трещин в зоне шва № 111. При оценке использовался детерминистический и вероятностный подход, а также учитывался опыт эксплуатации парогенераторов ПГВ-1000М. В соответствии с проведенной оценкой допустимые размеры дефектов равны:

- по глубине 2,5мм;
- по длине 12,5мм.

Критические размеры дефектов составили:

- по глубине 14мм;
- по длине 70мм.

Для улучшенной конструкции узла соединения коллектора первого контура с патрубком корпуса ПГ выполнена расчетная модель, такая же, как и модель с изначальной конструкцией «кармана».

6. Способы уменьшения повреждения ПГВ-1000М

6.1. Макро- и микрораспределение примесей в ПГ

Чтобы снизить повреждаемость трубного пучка ПГ и повысить его эксплуатационную надежность, необходимо эффективно удалить нерастворенные примеси из зон локального их концентрирования, а также разработать способы по предотвращению зашламления в указанных зонах в процессе нормальной эксплуатации и в переходных режимах работы энергоблока. Этот способ разрабатывается на основе исследования макро- и микрораспределения примесей в ПГ.

6.2. Удаление примесей с непрерывной и периодической продувкой парогенератора

Для того, чтобы удалить растворенные и нерастворенные примеси из парогенератора, можно применить непрерывную и периодическую продувку.

Непрерывная продувка предназначена для поддержания концентрации растворенных примесей в ПГ на допустимом уровне (рис. 1.1). Этот способ организован из «солевого отсека», то есть зоны с максимальной концентрацией растворенных примесей.

Периодическая же продувка, в основном, применима для устранения нерастворенных отложений шлама с нижней образующей ПГ и «карманов» коллекторов.

6.3 Удаление отложений с помощью химической промывки парогенераторов

В настоящее время наиболее эффективный способ удаления отложений продуктов коррозии с теплообменной поверхности ПГ – это химиче-

ская промывка. Она проводится систематически на работающих АЭС.

На Ростовской АЭС была применена технология химической промывки, которая предусматривает удаление накопленных отложений в три стадии. Во время данной промывки применяются следующие растворы: ацетат аммония + нитрит натрия + аммиак для устранения соединений меди, а также ЭДТК + ацетат аммония + гидразин при удалении железо-окисных отложений. Многочисленные экспериментальные исследования подтвердили результативность рецептуры и надежность её использования. На каждой стадии раствор для промывки поступал через коллектор раздачи химических растворов, который расположен в паровом пространстве ПГ. На стадии устранения меди (первая и третья) температура раствора в ПГ составила около (40-60)°С, на стадии устранения соединений железа (вторая стадия) температура раствора в ПГ была в районе (100- 120)°С. Она создавалась работой ГЦН первого контура. Из-за того, что раствор вскипал, на стадии устранения железа проводилось перемешивание промывочного раствора в ПГ. На так называемом «медном» этапе этот процесс происходил за счет подачи воздуха через линии продувки и дренажа. Химическая промывка выполнялась именно в конце расхолаживания энергоблока перед ППР.

7. Методы снижения напряжений в зоне сварного соединения №111

Изначально, для того, чтобы снизить напряжения, было предложено использование таких механических устройств, как хомут и цельное сжимающее кольцо. Хомут состоит из двух частей, которые соединяются с помощью шпилек (рис. 9).

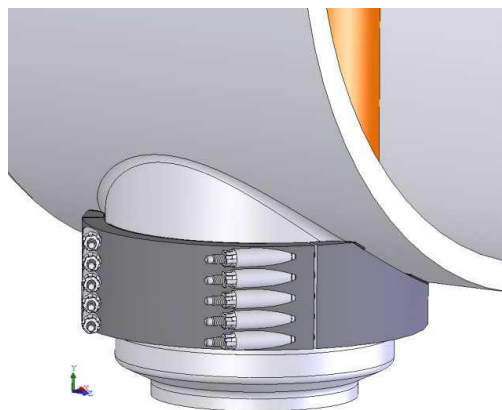


Рис. 9. Хомут для коллекторов ПГ.

Во время сжатия патрубка Ду1200 снижение наибольших местных растягивающих напряжений на галтели «кармана» коллектора теплоносителя будет составлять 26% , если сравнить с исходным состоянием, что касается конструкции со сжимающим кольцом–12%.

Основными недостатками рассмотренных методов является трудоемкость установки, а также снижение качества необходимых условий для проведения УЗК контроля металла сварного соединения №111. Более действенным способом уменьшения напряжений в рассмотренной зоне будет являться температурный метод.

Он состоит в том, чтобы создать сжимающие напряжения на галтели «кармана» коллектора с помощью охлаждения наружных слоев металла. При данном процессе возникает разность температур между внутренней и наружной поверхностями патрубка Ду1200, переходного кольца и «кармана» коллектора. Таким образом, наружные слои металла оказываются более холодными, чем внутренние, поэтому меньше расширяются и в итоге сжимают внутренние слои.

8. Заключение

В ходе данной работы была построена 3D модель парогенератора ПГВ-1000, на основании которой происходил анализ повреждений при штатной работе реактора.

Произведенный анализ по методам уменьшения повреждаемости металла в зонах локального концентрирования примесей, а также увеличению эксплуатационной надежности парогенератора ПГВ-1000 дает возможность сделать следующие выводы:

- 1) Дефекты сварного соединения №111, которые были выявлены на парогенераторах ПГВ-1000М на АЭС Украины и России являются следствием процесса, происходящего по причине замедленного деформационного коррозионного растрескивания под напряжением. Основные факторы, обеспечивающие этот процесс, следующие:

 - существенные растягивающие напряжения;

- коррозионно-активная среда в «карманах» коллекторов парогенераторов.
- 2) Устранение или уменьшение воздействия этих факторов –основные меры по предотвращению формирования дефектов в районе сварных соединений №111, что, в свою очередь, повысит эксплуатационную надежность узла приварки коллектора теплоносителя к корпусу ПГ и, в целом, самого парогенератора.
 - 3) Во время останова энергоблока в зону между второй и четвертой дистанционирующими решетками следует поток нерастворенных примесей, что в итоге может привести к «зашламлению» указанной области, отложению примесей и к росту повреждаемости трубного пучка.
 - 4) Проанализированы существующие методы вывода нерастворенных примесей из объема и «карманов» парогенератора, а именно с помощью непрерывной и периодической продувки, химической промывки, и усиленной продувки при останове блока.

Проведенный анализ существующих работ по исследуемой теме показал, что некоторые вопросы остаются нераскрытыми, а именно:

- вопросы по нерастворенным примесям и методам их результативного вывода;
- по исследованию процессов вывода шлама при помощи периодической продувки, а также по способам предотвращения «зашламления» «карманов» при разных эксплуатационных режимах, и наконец, вопросы, которые связаны с введением и исследованием температурного способа уменьшения напряжений.

8.Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность главному редактору, к. т. н., доценту кафедры «Начертательная геометрия и компьютерная графика» Оксане Викторовне Мухиной за помощь в создании 3D-модели парогенератора ПГВ-1000М.

Список литературы

1. Бакиров М.Б., Левчук В.И., Поваров В.П., Громов А.Ф. Анализ причин появления непроектных термосиловых воздействий в зоне сварного соединения №111 1 ПГВ-1000М и рекомендации по их исключению //Теплоэнергетика. 2014. № 8. С. 3.
2. Вережемский В.Г. Усталостная версия образования трещин в металле зоны СС №111 между коллекторами и патрубками корпуса ПГВ-1000. / Отчет ВНИИАЭС. Основные работы, выполненные в 2011г. водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000. // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2.

3. Заключение ЦНИИТМАШ от 30.08.2001 г. О причинах разрушения узла соединения коллектора с ПГ ВВЭР-1000.
4. РошкетаяевБ.М. Водно-химический режим АЭС с реакторами ВВЭР-1000 и РБМК-1000.
5. ТруновН.Б., Харченко С.А., КоротаевН.Ф., Лякишев С.Л. Результаты работ по исследованию причин повреждения металла в районе сварного шва приварки коллектора первого контура к корпусу парогенератора и разработка компенсирующих мероприятий. ОАО ОКБ «Гидропресс» Подольск. Учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 132 с.
6. Харченко С.А., ТруновН.Б., Денисов В.В., КоротаевН.Ф. Анализ причин повреждения металла в зоне сварного шва №111 парогенераторов ПГВ-1000М. ФГУП ОКБ «Гидропресс» Подольск.
7. ШутиковА.В., Савченко В.Е., ВиграненкоЮ.М., Хрусталеv В.А. Пути совершенствования водно-химического режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000. // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2.
8. «Metals Handbook Desk Edition. Second Edition» ASMInternational. The materials International Society. 2006
9. J.Charles. Duplex Stainless steels'91, 28÷30 October 1991 Beaune Bourgogne, France, vol. 1.

References

1. BakirovM.B., LevchukV.I., Povarov V.P., GromovA.F. Analysis reasons of appearance of unproject thermo power influences in the area of weld fabricated connection № 111 PGV-1000M and recommendations on their exception . *Analiz prichin poyavleniya neproektnykh termosilovykh vozhdeystviy v zone svarnogo soedineniya №111 PGV-1000M i rekomendacii po ih isklyucheniyu*. Teploenergetika. 2014, no 8, p. 3.
2. VerezhemskijV.G. Fatigue cracking version of SS in metal between №111 the collectors and pipes corps PGV-1000. *Ustalostnaya versiya obrazovaniya treschin v metalle zony SS №111 mezhdu kollektorami i patrubkami korpusa PGV-1000*. OtchyotVNIIAES. Osnovnye raboty, vypolnennyye v 2011g. Moscow. VNIIAES Publ., 2011 (in Russian).
3. Zaklyuchenie CNIITMASHot 30.08.2001g. O prichinah razrusheniya uzla soedineniya kollektora s PG VVER-1000. Moscow. CNIITMASH Publ., 2001 (in Russian).
4. RoschektaevB.M. Water-chemical mode of NPP with the reactors of VVER-1000 and RBMK-1000. *Vodno-himicheskij rezhim AES s reaktorami VVER-1000 i RBMK-1000*. Uchebnoeposobie. Moscow. NIYaUMIFI Publ., 2010. 132 p. (in Russian).
5. Trunov N.B., Kharchenko S.A., KorotaevN.F., LyakishevS.L. Results of works on research of reasons of damage of metal in the district of the weld fabricated guy sutures of welding on of collector of the first contour to the corps of steam generator and development of compensative events. *Rezultaty rabot po issledovaniyu prichin povrezhdeniya metalla v rajone svarnogo shva privarki kollektora pervogo kontura k korpusu parogeneratora i razrabotka kompensiruyuschich meropriyatij*. Podol'sk. OAOKB «Gidropress» Publ. (in Russian).
6. Kharchenko. S.A., Trunov N.B., Denisov V.V., KorotaevN.F., Analysis of reasons of damage of metal in the zone of the weld fabricated guy sutures №111 steam generator PGV-1000M. *Analiz prichin povrezhdeniya metalla v zone svarnogo shva №111 parogeneratorov PGV-1000m*. Podol'sk. FGUPOKB «Gidropress» Publ. (in Russian).
7. Shutikov A.V., Savchenko V.E., Vigranenko YU.M., Khrustalev V.A.. Ways of perfection of the water-chemical mode of the second contour of NPP with VVER-1000. *Puti sovershenstvovaniya vodno-himicheskogo rezhima vtorogo kontura AES s VVER-1000*. Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. 2008, v. 312, no 2 (in Russian).
8. «Metals Handbook Desk Edition. Second Edition» ASMInternational. The materials International Society. 2006
9. J.Charles. Duplex Stainless steels'91, 28-30 October 1991 Beaune Bourgogne, vol. 1 (in France).

МОНИТОРИНГ САПР СИСТЕМ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. В. Гараджа¹, Е. А. Емченко²

¹студент ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, ул. Университетская, 33, senya.garaja@yandex.ru

²к.т.н., доцент, заведующий кафедрой ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

г. Севастополь, Российская Федерация, ул. Университетская, 33, ellis05@mail.ru

Аннотация

В статье приведена краткая характеристика основных САПР систем для инженерного проектирования и моделирования. Отмечены достоинства и недостатки приведенных графических программ. Системы автоматического проектирования значительно упрощают работу и повышают ее качество не только на строительных предприятиях, они имеют обширную зону применения, их функции и возможности многогранны. Пользователи хотят видеть в автоматизированных программах для черчения помощника, который будет упрощать процесс создания самих чертежей, а разработчики считают своей задачей создать такую программу, с помощью которой и обучаемый строительной специальности, и окончивший учебное заведение смогут выполнить и оформить чертеж и схему, характерные для их деятельности. Системы автоматического проектирования классифицируются по видам типового назначения и целевого, по отраслевому назначению. Для определения наиболее популярных и удобных для инженерного проектирования и моделирования САПР систем был проведен опрос, для проведения которого были выбраны наиболее известные программы, результаты которого приведены в статье. Выбор при опросе не только технический, но и психологический, однако результаты могут быть полезными пользователям при выборе соответствующего программного обеспечения.

Ключевые слова: САПР системы, FreeCAD, ABViewer, AutoCAD, NanoCAD, A9CAD, ARCHICAD, преимущества, недостатки.

MONITORING CAD SYSTEMS FOR ENGINEERING DESIGN AND MODELING

A. V. Garaja¹, E. A. Emchenko²

¹ student Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, Russian Federation 299053,

senya.garaja@yandex.ru

² cand. sc. tech, head of department, Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, Russian Federation 299053, ellis05@mail.ru

Abstract

The article provides a brief description of the main CAD systems for engineering design and modeling. The advantages and disadvantages of the above graphic programs are noted. Automatic design systems significantly simplify work and improve its quality not only in construction companies, they have a wide range of applications, their functions and capabilities are multi-faceted. Users want to see an assistant in automated drawing programs that will simplify the process of creating the drawings themselves, and developers consider it their task to create such a program with the help of which both a student of the construction specialty and a graduate of an educational institution will be able to perform and execute a drawing and diagram specific to their activities. Automatic design systems are classified by type of typical purpose and purpose, by industry purpose. To determine the most popular and convenient CAD systems for engineering design and modeling, a survey was conducted, for which the most popular and convenient programs were selected, the results of which are given in the article. The choice in the survey is not only technical, but also psychological, but the results can be useful when choosing the appropriate software.

Keywords: CAD systems, FreeCAD, ABViewer, AutoCAD, NanoCAD, A9CAD, ARCHICAD, advantages and disadvantages.

1. Введение

Многие начинающие пользователи, сталкиваясь самостоятельно с графическими про-

граммами, теряются в их изобилии, ищут для себя более продвинутые с большим набором функций и графических инструментов, часто проигрывая в комфорте, качестве и скорости

выполнения поставленной задачи. Системы автоматического проектирования значительно упрощают работу и повышают ее качество не только на строительных предприятиях, они имеют обширную зону применения, их функции и возможности многогранны. Как показывает опыт, многие проектные институты требуют от своих сотрудников исключительных знаний и умений владения разными САПР, ссылаясь на их особенности, которые сильно влияют на качество работы. Так как сами программы для черчения обладают не только примитивным набором графических инструментов и команд, но и имеют различные функции для математического исчисления, а также предоставляют широкий выбор инструментов и материалов, которые подчиняются всем законам физики и назначаются в зависимости от специфики объекта моделирования. Многим специалистам в сфере инженерного проектирования и строительного черчения для своего профиля иногда не требуется наличие возможности для создания 3D моделей, в отличие от специалистов в области дизайнерского проектирования или архитектуры. В таких случаях важную роль играет удобство и понимание необходимых команд для создания таких моделей. Многих пользователей пугает сложная терминология и чрезмерное усложнение построения желаемого с помощью, казалось бы, простых команд и инструментов – это и является основным фактором, влияющим на снижение качества работы, что чревато отказом от пользования данной программой. Пользователи хотят видеть в автоматизированных программах для черчения помощника, который будет упрощать процесс создания самих чертежей, а разработчики считают своей задачей создать такую программу, с помощью которой и обучаемый строительной специальности, и окончивший учебное заведение смогут выполнить и оформить чертеж и схему, характерные для их деятельности. В условиях научно-технического прогресса очевидным является приспособление, совершенствование и улучшение автономных программ для строительного черчения, внедрение всесторонней информации, методы и способы построения и выполнения технических чертежей, схем и моделей с учетом принципов проектирования и конструирования в соответствии с существующими нормативами и стандартами.

Цель и постановка проблемы. На мой взгляд, в век инноваций и компьютерных технологий, людям очень легко потеряться или запутаться в цифровых благах, поэтому основной задачей моей статьи "Мониторинг САПР

систем для инженерного проектирования и моделирования" является исследование и выявление автономных графических программ обеспечивающих надежность и комфорт, являющимися наиболее удобными и популярными как для начинающих, так и для «продвинутых» пользователей. Цель этой работы – сэкономить время начинающих пользователей, убрать вероятность "набивания шишек" за работой с неподходящими для нужного вида работ САПР и сосредоточить внимание на определенных программах, зарекомендовавших себя с лучших сторон и обладающих подходящими качествами.

Изложение основного материала.

САПР – системы автоматического проектирования, относящиеся к сложным многоуровневым структурам, функциональность которых обеспечивается комплексностью средств вычислительной техники и различными типами обеспечения.

Разработчики САПР, САД-программ, САМ-систем и прочих графических помощников ставят перед собой цели развития специализации в области проектирования, улучшения качества продукции, обеспечения его оптимального уровня, ускорения технического прогресса, повышения эффективности промышленного производства и производительности труда, а так же ускорения технического прогресса [2, 3].

Системы автоматического проектирования классифицируются по видам типового и целевого назначения, по отраслевому назначению.

Признак классификации по типовому назначению отчасти перекликается с отечественным типом объекта проектирования и подразделяет все САПР на:

Машиностроительные — позволяют выполнять разработку элементов механических систем, а также создавать из них сборки, получая сложные механизмы.

Приборостроительные — используются для создания радиоэлектронного оборудования, интегральных микросхем и трассировки печатных плат.

Архитектурные — применяются в промышленном и гражданском строительстве, позволяют моделировать конструкции зданий и сооружений.

По целевому назначению.

Согласно данному классификационному признаку различают САД-, САЕ- и САМ-системы.

САД-системы объединяют в себе инструментальный конструирования различных деталей, подготовки чертежей, спецификаций и сопут-

ствующей документации. Большинство современных программ обладают функциями создания 3D-моделей, используемых в САМ и САЕ-системах.

САМ-системы позволяют выполнять технологическую поддержку производства изделия. Примером может служить генерация управляющей программы для станков и обрабатывающих центров с ЧПУ.

САЕ-системы обладают обширными средствами поддержки математического анализа. С помощью них моделируют и прогнозируют процессы в области теплотехники, гидравлики, механики; выполняют сложные расчеты с использованием расширенного математического аппарата. САЕ системы позволяют оценить работоспособность проектируемого изделия до его производства.

Характеристика программ.

FreeCAD

Бесплатная программа для создания трёхмерных моделей. FreeCAD - приложение для начинающих и в данный момент находится в стадии активного тестирования. Благодаря открытому исходному коду, каждый специалист может разработать к нему различные модули. Уже сейчас в приложении есть модули рисования, архитектуры и рендеринга.

Приложение воспринимает множество форматов, которые понадобятся во время работы: векторная графика, форматы AutoCAD, 3D модели и многое другое.

FreeCAD разработан в первую очередь для решения задач в области машиностроения - его создатель работает в автомобильном концерне.

ABViewer

Приложение для создания схем и чертежей, а также 3D моделей. В распоряжении пользователей удобный функционал, возможность копировать части чертежей, поддержка популярных форматов векторной и растровой графики, печать схем и чертежей из приложения. ABViewer открывает форматы других популярных средств для черчения и моделирования. Бесплатный пробный период до 45 дней.

Autodesk Autocad

AutoCAD – двух- и трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения, разработанная компанией Autodesk. Платная ПО с пробным периодом в 30 дней. Программа создаёт чертежи, трёхмерные модели и схемы. Autocad содержит массу инструментов для черчения и макетов. Приложение совместимо с 3D принтерами - можно вывести на печать готовое изделие из интерфейса программы. Это профессиональное приложение позво-

ляет создавать произвольные формы. Популярное приложение среди архитекторов и инженеров. Первая версия системы была выпущена в 1982 году. AutoCAD и специализированные приложения на его основе нашли широкое применение в машиностроении, строительстве, архитектуре и других отраслях промышленности. Программа выпускается на 18 языках [4].

Функциональные возможности.

Ранние версии AutoCAD оперировали небольшим числом элементарных объектов, такими как круги, линии, дуги и текст, из которых составлялись более сложные. В этом качестве AutoCAD заслужил репутацию «электронного кульмана», которая остаётся за ним и поныне. Однако на современном этапе возможности AutoCAD весьма широки и намного превосходят возможности «электронного кульмана».

В области двумерного проектирования AutoCAD по-прежнему позволяет использовать элементарные графические примитивы для получения более сложных объектов. Кроме того, программа предоставляет весьма обширные возможности работы со слоями и аннотативными объектами (размерами, текстом, обозначениями). Использование механизма внешних ссылок (XRef) позволяет разбивать чертёж на составные файлы, за которые ответственны различные разработчики, а динамические блоки расширяют возможности автоматизации 2D-проектирования обычным пользователем без использования программирования. Начиная с версии 2010 в AutoCAD реализована поддержка двумерного параметрического черчения. В версии 2014 появилась возможность динамической связи чертежа с реальными картографическими данными (GeoLocation API).

Версия программы AutoCAD 2014 включает в себя полный набор инструментов для комплексного трёхмерного моделирования (поддерживается твердотельное, поверхностное и полигональное моделирование). AutoCAD позволяет получить высококачественную визуализацию моделей с помощью системы рендеринга mental ray. Также в программе реализовано управление трёхмерной печатью (результат моделирования можно отправить на 3D-принтер) и поддержка облаков точек (позволяет работать с результатами 3D-сканирования). Тем не менее следует отметить, что отсутствие трёхмерной параметризации не позволяет AutoCAD напрямую конкурировать с машиностроительными САПР среднего класса, такими как Inventor, SolidWorks и другими. В состав AutoCAD 2012 включена программа Inventor Fusion, реализующая технологию прямого моделирования.

NanoCAD

Программа для черчения начального и среднего уровней. Поддерживает 3D моделирование, добавление векторной графики, форматы DWG и DXF, официальный стандарт САПР. Хорошее средство для начинающих. У приложения есть бесплатная версия, но в платной доступен больший функционал. NanoCAD переведён на русский язык.

A9CAD

Приложение для создания 2D чертежей. Ограниченный функционал A9CAD будет полезен для начинающих пользователей. Утилита открывает файлы формата Autocad, поддерживает слои и содержит немало инструментов для чертежей и схем.

ARCHICAD

Программный пакет для архитекторов, основанный на технологии информационного моделирования, созданный фирмой Graphisoft. Предназначен для проектирования архитектурно-строительных конструкций и решений, а также элементов ландшафта, мебели и прочее. При работе в пакете используется концепция Виртуального Здания. Суть её состоит в том, что проект ARCHICAD представляет виртуальную модель реального здания, существующую в памяти компьютера.

Основным преимуществом программы является естественная взаимосвязь между всеми частями проекта. Технология «виртуального здания» (BIM, ЦМО) позволяет работать не с отдельными, физически никак не связанными между собой чертежами, а со всем проектом в целом. Любые изменения, сделанные, например, на плане здания, автоматически отобразятся (перестроятся) на разрезах, видах, в спецификациях, экспликациях и пр. Такой подход обеспечивает значительное сокращение времени проектирования. Кроме того, при правильной работе с виртуальным зданием гарантировано обнаружение и устранение большинства проблем, которые обязательно проявились бы на более поздних этапах проектирования или, что ещё хуже, уже на строительной площадке. Благодаря большому количеству настроек стандартных инструментов, объекты настраиваются в соответствии с пожеланиями пользователя.

ArchiCAD позволяет работать над одним проектом группе архитекторов. Развита система групповой работы (teamwork) также сокращает время проектирования и способствует недопущению несоответствий в частях проекта, разрабатываемых разными архитекторами.

Недостатком программы можно считать ограниченные возможности по созданию объектов со сложной, нестандартной геометрией (например, поверхности NURBS, скульптурное моделирование), что зачастую не позволяет проектировщику стандартными средствами реализовать все свои идеи в полной мере. Для решения такой проблемы можно воспользоваться импортом из сторонних программ наподобие Cinema 4D, 3ds Max. Также ArchiCAD не предусматривает многовариантности проектирования (это решение не выделено в отдельный инструмент — класс) — в любой момент времени в рамках одного файла предпочтительно иметь один полноценный вариант принимаемых архитектурно-строительных решений (однако этот недостаток до некоторой степени можно решить отображением комбинаций слоёв).

Некоторым недостатком можно считать достаточно высокую (около 118,5 тыс. руб.) стоимость ArchiCAD. Однако, начиная с 2006 года компания «Graphisoft» предлагает начинающим пользователям урезанную версию программы ArchiCAD StarT Edition.

Задумываясь над выбором подходящего для Вашей работы «инструмента», Вы непременно отвечаете на несколько вопросов, а именно:

- 1) использование «полного» функционала программы (либо возможность обеспечить получение «своего» спектра инструментов);
- 2) простота освоения и использования программы;
- 3) возможность интегрированной работы с иными типами программ и файлов;
- 4) возможность оптимизации работы;
- 5) актуализация;
- 6) корректность работы с разными операционными системами; возможность использования сетевой версии (актуально для больших проектных бюро);
- 7) возможность получения оперативной помощи разработчиков;
- 8) финансовая доступность.

Отвечая на эти и другие сопутствующие вопросы, мы выбираем для себя не только набор инструментов (на рынке ПО действительно много на данный момент специализированных программных систем, предназначенных для работы с проектами в двух- и трехмерном пространстве в области машиностроения, архитектуры и строительства), но надежного товарища и помощника в работе.

Для определения наиболее популярных и удобных для инженерного проектирования и

моделирования САПР систем был проведен опрос, для проведения которого были выбраны наиболее популярные и удобные программы, по мнению интернет сообщества. На основе данных, взятых с браузера, были составлены вопросы анкетирования.

1. Какими из перечисленных программ вы пользовались?
2. Какие программы для вас были наиболее удобны для черчения 2D чертежей?
3. Какие программы для вас были наиболее удобны для черчения 3D моделей?
4. Какие приложения, по вашему мнению, больше подходят для начинающих пользователей?
5. Какие приложения, по вашему мнению, больше подходят для продвинутых пользователей?
6. Какие из этих приложений воспринимают нужное для вас количество форматов?
7. Какие из этих приложений обладают наиболее подходящим для вас функционалом и набором инструментов?
8. Какими конструкторами вам советовали воспользоваться другие пользователи?
9. Выберите программы с наиболее удобным для вас интерфейсом, подходящей контрастностью, четкостью значков и присутствием оптимизированных графических команд.
10. Какое из перечисленных приложений вас устраивает больше всего?

Результаты эксперимента.

В опросе приняло добровольное участие 165 респондентов из числа студентов, увлекающихся работой с графическими работами разной направленности, а также квалифицированные работники проектных строительных организаций.

Результаты опроса приведены в таблице 1. Безусловно, такой выбор при опросе не только технический, но и психологический.

Таблица 1. Результаты анкетирования

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FreeCAD	8	10	12	15	2	9	12	7	13	12
ABViewer	2	4	2	10	3	2	3	9	1	1
Autodesk Autocad	23	18	16	12	16	18	17	10	16	19
nanoCAD	2	3	3	8	3	2	2	8	8	1
A9CAD	2	3	5	2	10	4	3	9	6	4
ARCHICAD	13	12	12	3	16	15	13	7	6	13

После подведения итогов опроса, были выбраны три программы, набравшие наибольшее количество голосов: Autodesk Autocad, ARCHICAD, FreeCAD.

Выводы. Выбор ПО САПР напрямую зависит от потребностей и желаемого результата, вам нужно определиться с задачами, задать правильные вопросы и, руководствуясь ответами, обратить внимание на возможности популярных решений, рассчитать бюджет. Не стоит гнаться за новейшими версиями программ, если их расширенные технологические возможности напрямую не будут влиять на производительность и доход, все затраты должны окупаться. Задумайтесь так же о надобности наличия инструментария для 3D-проектирования, основная часть строительных, инженерных чертежей выполняются с помощью инструментов базовых и легких САПР. Существует множество форумов и интернет-сообществ, в которых вам смогут оказать помощь в изучении возможностей программного обеспечения, так же не стоит забывать о пособиях и учебных материалах, предоставляемых компаниями-создателями. В популярных и распространенных САПР количество и визуализация моделей почти одинаково, поэтому не стоит в первую очередь задумываться об этом. Постарайтесь узнать о совместимости с другими графическими программами и воспринимают ли интересующие вас приложения нужное для вас количество форматов.

Список литературы

1. ГОСТ 23501.101—87. Системы автоматизированного проектирования. Основные положения
2. Жук Д. М. Технические средства и операционные системы САПР / Д. М. Жук. – М.: Наука, 1986. – 157 с.
3. Меньов А.В. Теоретические основы автоматизированного управления: Учеб. пособие / А.В. Меньов. – М.: МГУП, 2002. – 176 с.
4. Орлов А.А. AutoCAD 2015 / А.А. Орлов. – СПб, 2015. – 385 с.
5. Петров А.В. Проблемы и принципы создание САПР / А.В. Петров. – М.: Высш. шк. 1990. – 143 с.
6. Федорчук В. Г. Информационное и прикладное программное обеспечение САПР / В. Г. Федорчук. – М. 1990. – 77 с.
7. [<https://www.autodesk.ru/solutions/cad-software>]
8. [<https://www.zwsoft.ru/stati/programma-dlya-chercheniya-na-kompyutere>]

References

1. GOST 23501.101—87. Computer aided design systems. Key Points
2. Zhuk D. M. Technical means and operating systems of CAD / D. M. Zhuk. - М.: Nauka, 1986. – 157 p.
3. Menov A.V. Theoretical foundations of automated control: Textbook. allowance / A.V. Menov. – М.: MGUP, 2002. – 176 p.
4. Orlov A.A. AutoCAD 2015 / A.A. Orlov. - St. Petersburg, 2015. – 385 p.
5. Petrov A.V. Problems and principles of creating CAD / A.V. Petrov. - М.: Higher. school 1990. – 143 p.
6. Fedorchuk V. G. Information and applied CAD software / V. G. Fedorchuk. - М. 1990. – 77 p.
7. [<https://www.autodesk.ru/solutions/cad-software>]
8. [<https://www.zwsoft.ru/stati/programma-dlya-chercheniya-na-kompyutere>]

УДК 658.512.22

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАМНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПУТЕМ СОЗДАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ОБЪЕКТА ИЗДЕЛИЙ

Д.А. Саса¹ студент, А.Ю. Тараховский² доцент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: sasa.dmitriy@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: aytarakhovskiy@sevsu.ru

Аннотация

В работе показаны особенности использования систем автоматизированного проектирования (САПР) при построении и выполнении прочностных расчетов рамы прицепа. Описан порядок создания модели: создание геометрии в виде эскиза модели и затем дальнейшие построения с применением библиотеки сварных изделий в CAD системе на примере программы SOLIDWORKS, задание механических свойств материала, создание сетки конечных элементов, задание граничных условий – нагрузок и закреплений с учетом особенностей крепления на раме цистерны и элементов подвески. В качестве одной из основных нагрузок была выбрана статическая и динамическая распределенная нагрузка на лонжероны рамы. Описывается создание различных типов взаимодействий, необходимых для соединения деталей. В раме прицепа это сварочные соединения лонжеронов, и элементов усиливающих жесткость рамы, свойства которых также можно задавать в системе. Приведен перечень основных параметров, необходимых для определения запаса прочности конструкции, а также для дальнейших расчетов. Обосновывается необходимость дальнейших расчетов с учетом динамических нагрузок, действующих со стороны перевозимой цистерны при различных режимах движения автомобиля-тягача.

Ключевые слова: рама, система автоматизированного проектирования (САПР), модель, компьютерное моделирование, эскиз, прочностной расчет, запас прочности.

FEATURES OF THE MANUFACTURE OF FRAME PRODUCTS FOR SPECIALIZED ROLLING STOCK BY CREATING A COMPUTER SIMULATION OF THE STATE OF THE PRODUCT OBJECT

D.A. Sasa¹ student, A.Y. Tarakhovskiy² docent

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: sasa.dmitriy@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: aytarakhovskiy@sevsu.ru

Abstract

The paper shows the features of using computer-aided design (CAD) systems when constructing and performing strength calculations of the trailer frame. The procedure for creating a model is described: creating geometry in the form of a sketch of a model and then further building using a library of welded products in a CAD system using the

SOLIDWORKS program example, setting the mechanical properties of the material, creating a finite element mesh, setting boundary conditions - loads and fastenings, taking into account the peculiarities of fastening to tank frame and suspension elements. As one of the main loads, a static and dynamic distributed load on the frame side members was chosen. Describes the creation of various types of interactions required to connect parts. In the trailer frame, these are the welding joints of the side members and the elements that strengthen the rigidity of the frame, the properties of which can also be set in the system. A list of the main parameters necessary to determine the margin of safety of the structure, as well as for further calculations, is given. The necessity of further calculations, taking into account the dynamic loads acting on the side of the transported tank under various driving modes of the towing vehicle, is justified.

Keywords: frame, computer-aided design (CAD) system, model, computer simulation, sketch, strength analysis, safety factor

1. Введение

В настоящее время производство невозможно без использования компьютерных технологий [5]. В программном обеспечении современных промышленных систем автоматизации проектирования (САПР) часто используются методы объемного моделирования для создания геометрических моделей проектируемых объектов: объемная модель — это однозначное геометрическое представление изделия. Применение компьютера позволяет объединить вопросы геометрического моделирования и вычислительной геометрии.

Система *SOLIDWORKS* предназначена для формирования 3D-моделей чертежей деталей и сборочных единиц, содержащих оригинальные и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология дает возможность быстро получать модели типовых изделий на основе спроектированного прототипа. Различные сервисные функции помогают решать вспомогательные задачи проектирования и обслуживания производства [1].

2. Основная часть

Общей структурой построения твердых тел является выполнение булевых операций над объемными элементами. Мы создаем эскиз в плоскости и перемещаем его по заданной траектории, таким образом, получая нужную нам деталь [6]. Для построения рамы прицепа из стандартного стального гнутого профиля ГОСТ 8278-83 с размерами поперечного сечения 120X60X5 мм была создана библиотека сварных изделий. Для этого нужно выбрать плоскость (в данном случае XY) создать эскиз поперечного сечения профиля, нанести размеры согласно ГОСТ, выполнить привязки линий как показано на рис.1. Во вкладке «Свойства» назначаем свойства металла, из которого сделан профиль. Затем сохранить эскиз в разрешении .SLDFP в папку «Профили сварных деталей».

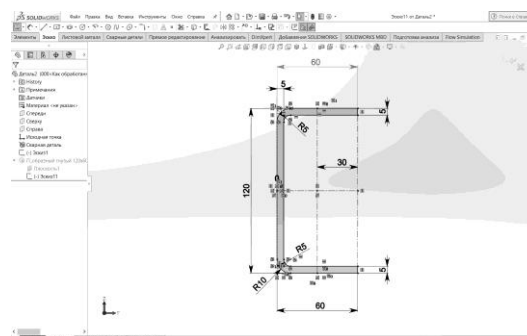


Рис. 1. Эскиз профиля

Затем переходим к построению эскиза рамы прицепа. Аналогичным образом выбираем плоскость эскиза (XZ) строим эскиз согласно габаритов указанных заказчиком выполняем привязки эскиза к центру координат, Проставляем размеры согласно габаритам рамы с учетом ширины полки профиля, как показано на рис. 2 [2].

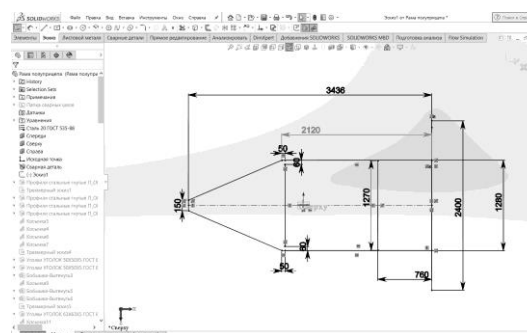


Рис. 2. Эскиз рамы

После сохранения эскиза и выхода из меню эскиз мы переходим во вкладку «Сварные детали», где нажатием кнопки меню «Конструкция», выбираем наш сохраненный профиль в выбегающих вкладках, и нажимаем на линии эскиза, как показано на рис. 3, далее выбираем положение профиля и точку привязки самого профиля к линии эскиза. Программа *SOLIDWORKS* автоматически выполнит вырезы профиля на угловых стыках, данная операция значительно облегчает и ускоряет построение модели.

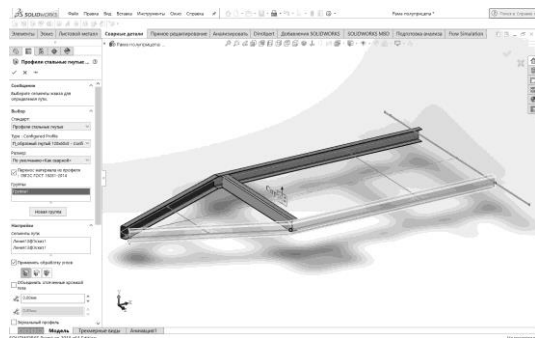


Рис. 3. Построение профиля

После нанесения всех элементов конструкции получаем готовую модель рамы.

Следующий этап — это задание нагрузок и граничных условий. Заданные нагрузки и ограничения определяют граничные условия для расчетной модели. К нагрузкам относятся ограничения степеней свободы, сосредоточенные, распределенные, объемные и инерционные усилия. Каждое заданная конфигурация нагрузок называется шагом нагружения, и анализ может состоять из одного или более таких шагов. Выполним модель нагружения рамы под действием сил от цистерны, стоящей на ней. Переходим во вкладку меню «Анализировать», в ней выбираем помощник SimulationXpress. Далее выбираем крепления, места, где прицеп закрепляется к автомобилю тягачу и место установки шасси, затем добавляем распределенную нагрузку вдоль лонжеронов, массу берем исходя из значений полной массы цистерны с жидкостью. Следующий шаг это выбор материала гнутого профиля. Основным этапом выполнения расчетов является разбиение узлов рамы на сетку конечных элементов, для более упрощенного моделирования был выбран тип сетки: структура балок. Рама разбита сеткой на 238 узлов и 232 элемента рис. 4.

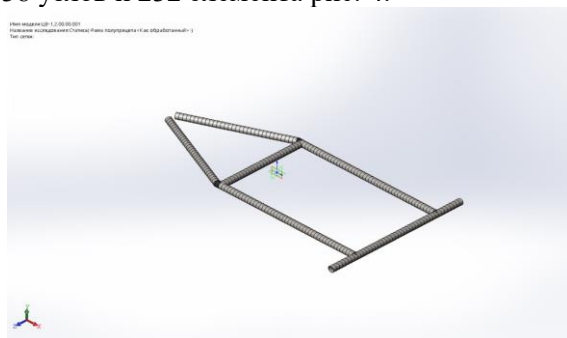


Рис. 4. Сетка конечных элементов балок

После проведения расчета модели, CAE определила результирующие силы и моменты реакции, так же силы, действующие на балки в местах их соединений, все это программа выдает в виде таблиц в отчете.

По результатам исследования мы можем увидеть максимумы и минимумы результирующих напряжений, эпюры перемещения балок под действием сил. При использовании такого гнутого профиля и эскиза рамы общее перемещение составило 6,250 мм, это можно увидеть на эпюре перемещений рис. 5.

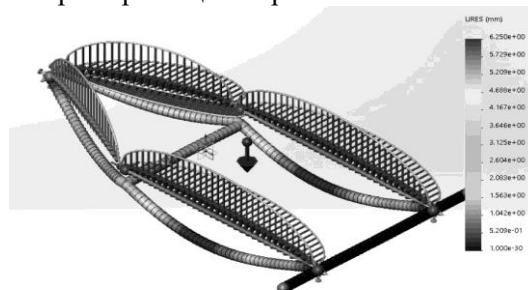


Рис. 5. Эпюра перемещения балок рамы

Максимумы и минимумы напряжений осевых и изгибающих моментов приведены в таблице 1. На рис. 6 представлены эпюры перемещения балок рамы под действием осевых и изгибающих моментов.

Таблица 1. Напряжения осевых и изгибающих моментов

Тип	Мин	Макс
Осевые и изгибающие	0 Н/м2 Элемент: 229	9.322·107 Н/м2 Элемент: 155

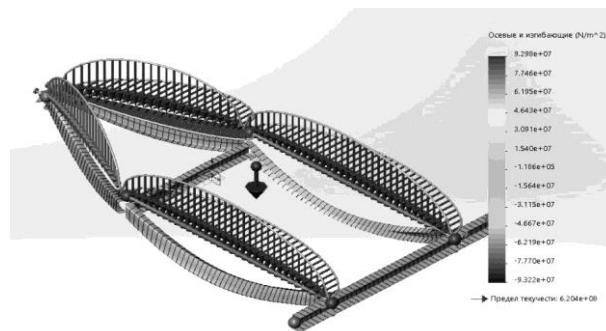


Рис. 6. Эпюра осевых и изгибающих моментов

Запас прочности модели рамы по расчетам программы составляет от 6.656 до $3.280 \cdot 10^5$ ед.

После проведения анализа и расчета рамы с помощью CAE САПР Solidworks мы получили искомые нам перемещения и моменты, действующие на балки рамы. Перемещение рамы находится в допустимых пределах. Общее перемещение при полностью заполненной цистерне составляет 6,25 мм.

Выбранный профиль является достаточно жестким и легким, для несущей конструкции рамы. Для уменьшения воздействия осевых

моментов на балки и крепления стабилизатора моста, на расстоянии 760 мм от заднего швеллера, будет приварен уголок равнополочный ГОСТ 8509-93 с размерами 63х63х5 мм [3]. Так же места сварки швеллеров дышла поперечного швеллера будут усилены косынкой дышла. Для увеличения жесткости конструкции будут приварены косынки к заднему швеллеру и плиты дышла в передней части рамы. Вид рамы прицепа после изменения конструкции представлен на рис. 7 [4].

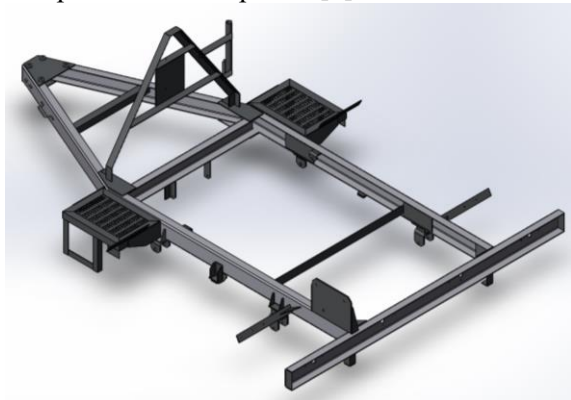


Рис. 7. Общий вид 3D модели рамы

3. Заключение

Проведенный анализ рамы с помощью САПР SOLIDWORKS позволяет достичь многовариантности, низкой трудоемкости, металлоемкости, при тех же параметрах жесткости и запаса прочности. Использование САПР для моделирования значительно увеличивают экономический эффект предприятия в короткие сроки, позволяет значительно экономить материал, так как видны места которые нужно усилить, и места, где излишняя трата материала лишена смысла.

Таким образом использование САПР позволяет эффективно моделировать процессы, происходящие в узлах рамы, выполнять ее прочностной расчет, и тем самым в короткие сроки оценивать работоспособность новых конструкций на стадии проектирования.

Список литературы

1. Ваншина Е.А. 3D-моделирование сборок изделий в САПР // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. XXI междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2013.
2. ГОСТ 8278-83 Швеллеры стальные гнутые равнополочные. Сортамент – Введ. 01.01.1984. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 18 с.
3. ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент – Введ. 01.01.1997. – Москва: Стандартинформ, 2012. – 20 с.
4. Саса Д.А., Тараховский А.Ю. Последовательность изготовления рамы одноосного прицепа-цистерны // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2019. – №5. – С. 19-22.
5. Тараховский А.Ю. Геометрическое моделирование и автоматизация процесса его изучения // Образование в цифровую эпоху: сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции преподавателей, студентов, аспирантов, докторантов и заинтересованных лиц, г. Нижний Новгород, 10-11 декабря 2019г. – Нижний Новгород: Изд-во НГПУ им. Козьмы Минина, 2019. – С. 68-72.
6. Федотова Н.В. Трехмерное моделирование в преподавании графических дисциплин // Педагогические науки. — 2011. — № 12. — С. 68—70.

References

1. Vanshina E.A. 3D-MODELIROVANIE SBOROK IZDELIJ V SAPR // Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike: sb. st. po mater. XXI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Novosibirsk: SibAK, 2013.
2. GOST 8278-83 SHvellery stal'nye gnutye ravnopolochnyye. Sortament – Vved. 01.01.1984. – Moskva: Standartinform, 2012. – 18 s.
3. GOST 8509-93 Ugolki stal'nye goryachekatanye ravnopolochnyye. Sortament – Vved. 01.01.1997. – Moskva: Standartinform, 2012. – 20 s.
4. Sasa D.A., Tarakhovskiy A.YU. Posledovatel'nost' izgotovleniya ramy jednoosnogo pricepacisterny // Transportnoe, gornoe i stroitel'noe mashinostroenie: nauka i proizvodstvo. – 2019. – №5. – S. 19-22.
5. Tarakhovskiy A.YU. Geometricheskoe modelirovanie i avtomatizaciya processa ego izucheniya // Obrazovanie v cifrovuyu epohu: sbornik statej po materialam Mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoy konferencii prepodavatelej, studentov, aspirantov, doktorantov i zainteresovannyh lic, g. Nizhnij Novgorod, 10-11 dekabrya 2019g. – Nizhnij Novgorod: Izd-vo NGPU im. Koz'my Minina, 2019. – S. 68-72.
6. Fedotova N.V. Trekhmernoe modelirovanie v prepodavanii graficheskikh disciplin // Pedagogicheskie nauki. — 2011. — № 12. — S. 68—70.

АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ШЕСТЕРНИ В CAD-СИСТЕМАХ

А. Ю. Тараховский¹, И.В. Тищенко²

¹ К.т.н., доцент, Севастопольский государственный университет, aytarakhovskiy@sevsu.ru

² Студент, Севастопольский государственный университет, ivtishchenko@yandex.ru

Аннотация

Существует множество способов проектирования изделий в CAD-системах. От выбранного метода зависит сложность моделирования. В статье выделяются три основных способа моделирования: геометрический, параметрический, с помощью библиотеки. Геометрический метод проектирования основан на получении требуемого контура с помощью геометрических построений. Параметрический метод основан на получении контура соединением точек с определенными координатами. Метод построения с помощью библиотеки основан на получении контура путем ввода параметров и автоматическом построении по готовой программе. Каждым способом выполняется построение модели шестерни. Выявляются достоинства и недостатки каждого метода построения. Акцентируется внимание на том, что геометрический метод является трудоемким и неточным методом. Для большей точности необходимо большее количество построений. Подчеркивается, что это усложняет эскиз и уменьшает скорость обработки модели. Параметрический метод является более точным методом, так как координаты точек определяются из параметрических уравнений эвольвенты. При данном методе эскиз остается простым. Таким образом, параметрический метод является более гибким и менее сложный. Построение с помощью библиотеки позволяет создавать модели любой точности. Данный метод наиболее простой и гибкий. Построенные профили сравниваются. Делается вывод, что геометрический метод не подходит для моделирования изделий. Параметрический метод и метод построения с помощью библиотеки могут использоваться для моделирования реальных изделий, но необходимо проверить модель с помощью САЕ-системы.

Ключевые слова: проектирование изделий, CAD-системы, метод построения, прикладная библиотека, геометрический метод построения, параметрический метод построения, эвольвента, профиль зуба, Компас 3D, модуль «GEARS».

ANALYSIS OF VARIOUS METHODS OF GEAR CONSTRUCTION IN CAD SYSTEMS

A. Y. Tarakhovskiy¹, I.V. Tishchenko²

¹ Ph. D., associate Professor, Sevastopol state University, aytarakhovskiy@sevsu.ru

² Student, Sevastopol state University, ivtishchenko@yandex.ru

Abstract

There many ways of modeling with CAD-systems. The difficult of design depends on chosen method. The article describes three main methods of modeling: geometric method, parametric method, modeling with integrated library. Geometric method is based on transformation of geometric objects and getting right shapes. Parametric method is based on the connecting dots with defined coordinates. Modeling with integrated library is modeling by setting parameters for special program. Then computer makes model by this program. On the next stage gear was design with all three methods. Advantages and disadvantages of all methods are identified. It is mentioned that geometric method is hard and inaccurate. Sketch requires more objects for higher accuracy. In the result it makes sketch more complicated and a processing becomes slower. Parametric method is more accurate, because coordinates are solutions of parametric equations of involute. By using this method sketch remains simple. Thus parametric method is more universal and easier. Modeling with integrated library is good for model with any accuracy. This method is simplest and the most flexible. Then model's shapes are compared. It is concluded that geometric method is cannot be used for real item design. Parametric method and modeling with integrated library can be used for real item design, but it has to be checked with CAE-systems.

Keywords: product design, CAD systems, construction method, application library, geometric construction method, parametric construction method, involute, tooth profile, 3D Compass, "GEARS" module.

1. Введение

Существует много методов моделирования различных деталей в CAD-системах. Каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками. И при построении модели выбор метода построения может, как облегчить, так и усложнить создание модели [5].

В условиях ограниченного времени более простой способ может существенно ускорить процесс моделирования. Поэтому очень важно изначально знать самый оптимальный способ.

Объект исследования: процесс моделирования.

Предмет исследования: методы построения модели.

Цель исследования: анализ методов построения модели на примере шестерни.

Задачи исследования:

- рассмотреть основные методы построения профиля шестерни
- выполнить построение
- проанализировать эффективность каждого метода
- сравнить полученные профили

Научная новизна исследования: систематизация методов построения.

Практическая значимость: актуализация информации о применимости различных методов построения с учетом применения CAD-систем при моделировании изделий.

2. Основная часть

Главной задачей при моделировании шестерни является построение профиля зуба. Часть профиля, головка зуба, очерчивается кривой – эвольвентой. Другая часть, ножка, выполняется произвольно, с условием свободного выхода зубьев из зацепления [1].

Построение эвольвенты можно выполнить геометрическим способом. Для этого базовую окружность делят на определенное количество частей. После чего от каждой части откладывают полукасовые. Длины полукасовых вычисляют в долях от длины дуги исходной окружности. После чего концы отрезков соединяют плавной кривой [6]. Далее полученная кривая симметрично отображается относительно оси симметрии зуба.

CAD-системы позволяют получить требуемую кривую и без трудоемких построений. Это возможно через создание инструментом «Сплайн» кривой по точкам. Координаты точек задаются отдельным файлом в форматах .xls, .txt и других, в зависимости от используемой

системы. Таким способом можно получить любую кривую, если возможно задать координаты ее точек.

Еще одним методом построения является использование встроенной в CAD-систему библиотеки. Такие библиотеки позволяют рассчитать все параметры, выполнить проверочные расчеты и сразу построить нужный элемент, например, шестерню.

В данном исследовании построение будет выполняться в среде CAD-системы «КОМПАС-3D». Параметры шестерни представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры шестерни

z	20
m	3,5
d	70
d_a, мм	77
d_f, мм	61,25
d_b, мм	65,778
ρ, мм	1,33
s, мм	5,498

2.1. Построение геометрическим методом

Для построения шестерни геометрическим методом на эскизе были созданы окружность вершин, делительная окружность, базовая окружность и окружность впадин.

Далее базовая окружность была разбита отрезками на 12 частей. В точках пересечения отрезков и базовой окружности были проведены полукасовые. Длина полукасовых вычислялась в долях от длины окружности. После построения концы полукасовых соединялись инструментом «Сплайн по точкам». Полученная кривая инструментом «Усечь кривую» была обрезана по окружности вершин. Далее достраивался контур ножки с сопряжением у окружности впадин. Полученный профиль зуба был симметрично отражен с помощью команды «Симметрия». После командой «Копия по окружности» были получены остальные зубья шестерни, а инструментом «Усечь кривую» были убраны лишние линии. Эскиз представлен на рис. 1. В конце инструментом «Операция выдавливания» эскиз был преобразован в модель шестерни.

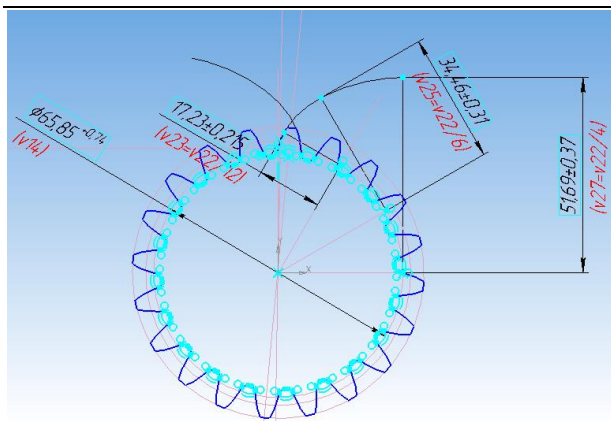


Рис. 1. Эскиз шестерни, построенной геометрическим методом

Но использованное число разбиений дает приближенную форму профиля головки зуба. Для более точной формы необходимо увеличить число разбиений.

Для проверки этого утверждения был создана еще одна модель шестерни, полученная геометрическим методом.

В этом случае окружность разбивалась не на 12 частей, а на 120 частей. Дальнейший ход построения аналогичен описанному ранее. Полученный эскиз представлен на рис. 2. При этом на рисунке для большей четкости показаны только первые 13 отрезков разбиения и полукасательных, которых достаточно для построения участка эвольвенты.

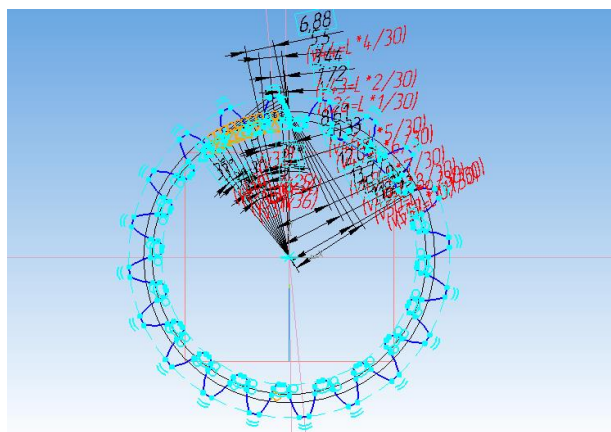


Рис. 2. Эскиз шестерни, полученная геометрическим методом с большим числом разбиений.

При таком числе разбиений на эскизе появляется много элементов. Это значительно усложняет эскиз и увеличивает время его обработки и редактирования. Таким образом, для получения более точного профиля зуба этот метод нельзя считать оптимальным.

2.2. Построение параметрическим методом

Проблему построения более точного профиля решает параметрический метод построения.

Для того, что построить эвольвенту или любую другую кривую нужно создать файл с координатами точек. Координатами точек можно получить из уравнения эвольвенты в параметрическом виде.

$$x = \frac{d_b}{2} [\cos(\varphi) + \varphi \sin(\varphi)]$$

$$y = \frac{d_b}{2} [\sin(\varphi) - \varphi \cos(\varphi)]$$

где φ – угол между двумя отрезками разбиения.

Последовательно подставляя значения φ и учитывая ориентацию эскиза, получаем координаты точек эвольвенты. Далее используя инструмент «Сплайн по точкам» и выбрав параметр координат вершин «Читать из файла» была построена заданная кривая.

После построения окружности вершин, впадин, делительную и базовую окружности, достраивания ножки зуба была получена одна сторона профиля зуба. Количество точек построения на данной кривой достаточно для точного моделирования профиля [2].

Дальнейшие действия отличаются от приведенных ранее. Для того чтобы упростить эскиз и время его обработки нужно использовать другой принцип создания модели.

Вместо симметричного отражения кривой и получения зуба, необходимо симметрично отразить и получить впадину. И в конце удалить лишние части окружностей. Конечный вид эскиза показан на рис. 3.

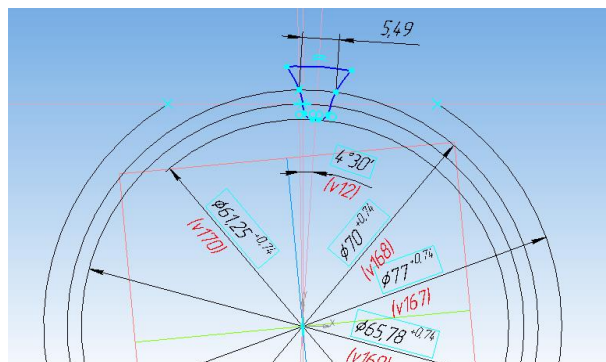


Рис. 3. Эскиз впадины шестерни

Следующим этапом является создание цилиндра диаметром окружности вершин и шириной шестерни. Для этого используется ин-

струмент «Операция выдавливания». Далее из полученного тела инструментом «Вырезать выдавливанием» необходимо вырезать впадину. Модель представлена на рис. 4.

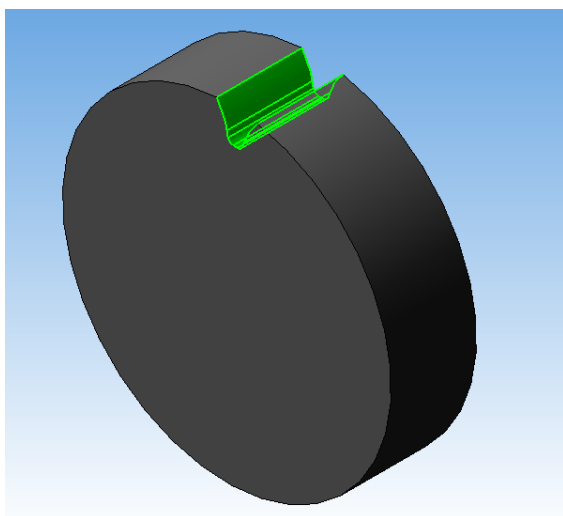


Рис. 4. Построение шестерни параметрическим методом. Промежуточный этап

Последним этапом является получение готовой шестерни инструментом «Массив по концентрической сетке», который нужно применить к операции вырезания. Готовая модель представлена на рис. 5.

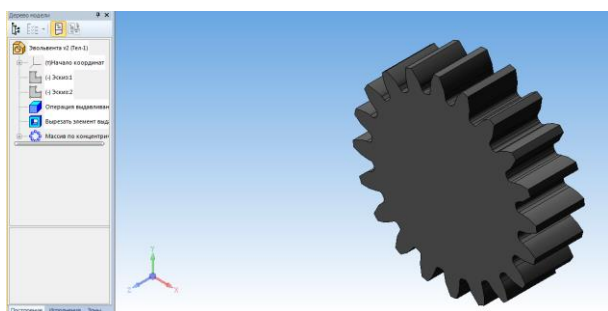


Рис.5. Построение шестерни параметрическим методом. Завершающий этап.

Полученную таким способом модель удобно редактировать. Эскиз остается простым и быстро обрабатывается. При этом для построения требуется меньше времени и усилий.

2.3. Построение с помощью библиотеки

Если описанные ранее методы сходны на определенных этапах, то построение с помощью библиотеки хоть и похоже по смыслу, но отличается по необходимым действиям.

CAD-система «КОМПАС-3D» обладает встроенными библиотеками [3, 4], которые

позволяют моделировать готовые изделия. Для создания шестерни необходимо использовать библиотеку «Валы и механические передачи 3D».

При запуске библиотеки появляется панель, где необходимо ввести данные шестерни. Также данные можно рассчитать с помощью модуля «GEARS». После следует выбрать опорную плоскость. Построение с помощью библиотеки показано на рис. 6. Построенная шестерня показана на рис. 7.

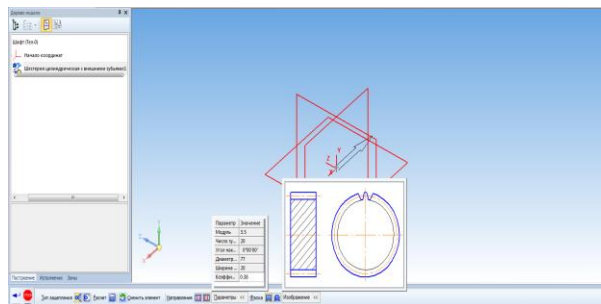


Рис. 6. Процесс построения с помощью библиотеки.

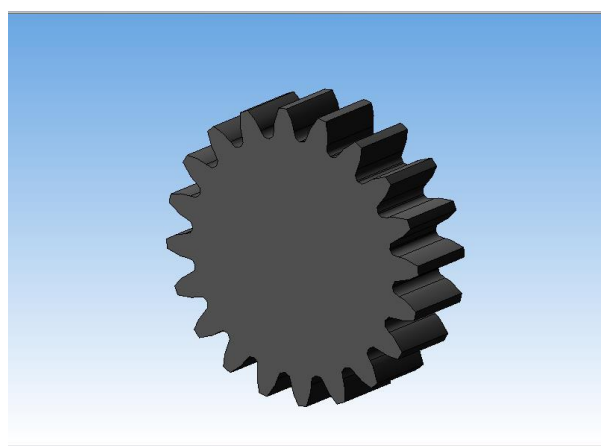


Рис. 7. Шестерня, построенная с помощью библиотеки

Если развернуть список операций, то можно увидеть, что последовательность построения похожа на предыдущий способ. При этом для построения нужно лишь ввести определенные параметры.

Этот способ прост, быстр и удобен для редактирования модели. Также использование этого метода позволяет избежать ошибок в эскизе, чего не всегда удастся сделать при геометрическом методе построения.

2.4. Сравнение полученных профилей

После создания трех моделей, профили были сопоставлены для сравнения, как представлено на рис. 8.

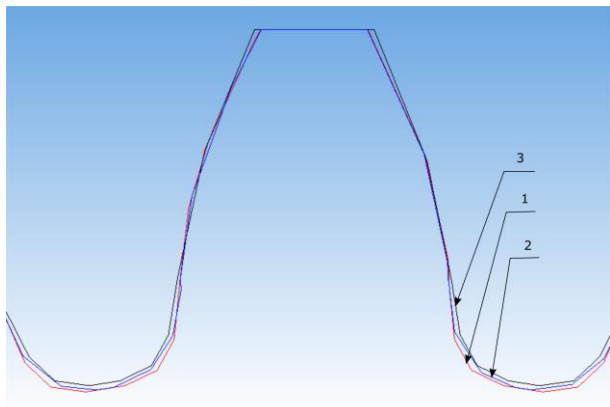


Рис. 8. Сравнение профилей шестерни
1 – профиль, полученный параметрическим методом
2 – профиль, полученный с помощью библиотеки
3 – профиль, полученный геометрическим методом

Сравнивая профили, можно увидеть, что профиль, полученный геометрическим методом значительно шире как у головки зуба, так и у ножки, но при этом несколько уже других в средней части.

Параметрический профиль близок к профилю, полученному с помощью библиотеки. На большинстве участков они либо совпадают, либо имеют минимальные отклонения друг от друга. Единственное место, где наблюдается наибольшее отклонение — это участок у основания зуба.

В целом параметрический метод по точности оказался близким к методу построения с помощью библиотеки. При еще большем увеличении числа разбиений в первом случае кривая профиля будет еще больше приближаться к тому, что получено автоматическим построением.

Однозначно геометрический метод нельзя использовать для моделирования точных профилей. Для менее точных профилей он также не является оптимальным решением. Проектирование с помощью библиотеки оказывается более удобным в использовании и по простоте, и гибкости.

При этом для определения, насколько полученные отклонения при параметрическом построении критичны для модели простого по-

строения модели недостаточно. «КОМПАС-3D» не позволяет проверить как форма профиля будет влиять на характер работы реального изделия. Поэтому необходимо использование САЕ-систем, где можно комплексно проверить полученный профиль.

3. Выводы

Выбор метода построения должен зависеть от требуемого конечного результата.

Геометрический метод построения с малым число разбиений не обеспечивает высокой точности, трудоемкий и усложняет дальнейшее редактирование. Он может быть использован при обучении использованию САД-систем, как один из способов построения, но для моделирования реальных изделий применяться не может.

Параметрический метод способен обеспечить точность контура профиля. Этот способ более гибкий, так как увеличивая или уменьшая шаг угла φ можно добиться различной точности конечного профиля. Но для реализации данного метода необходимо получить координаты точек эвольвенты, а это требует использования дополнительных средств при работе. Параметрический метод не усложняет эскиз, а значит, скорость обработки будет выше, чем при геометрическом методе.

Метод построения с помощью библиотеки простой, не требует использования дополнительных средств, кроме самой библиотеки. При данном способе удобно и просто редактировать готовую модель. Сам процесс моделирования занимает гораздо меньше времени, чем при других описанных методах. Метод может применяться для моделирования изделий любой точности.

Для понимания насколько профиль соответствует требованиям, которые предъявляют к реальному изделию необходимо при моделировании использовать САД-систему совместно с САЕ-системой. Так можно будет получить не только геометрию, но и то как геометрия будет влиять на процесс работы изделия.

Список литературы

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
2. Вавилов Д.В., Ереско С.П., Иптышев А.А. Методология компьютерного моделирования зубчатых передач с нормированием показателей точности // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – Иркутск: Иркутский государственный университет путей сообщения. – 2011. – С. 173-176
3. Гончарова И.А., Куреткова Л.Н. Применение библиотек и приложений для решения учебных задач в программе Компас // Научная дискуссия: инновации в современном мире. 2017. № 1 (60). С. 43-48.

4. Даньков А.В., Тараховский А.Ю. Исследование и анализ использования прикладной библиотеки САПР "КОМПАС 3D" при расчете размерных цепей // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте: сборник материалов Международной научно-практической конференции, г. Кемерово, 29-30 ноября 2017 г. – Кемерово: Изд-во КузГТУ им Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 130-134.
5. Тараховский А.Ю. Геометрическое моделирование и автоматизация процесса его изучения // Образование в цифровую эпоху: сборник статей по материалам Международной научнопрактической конференции преподавателей, студентов, аспирантов, докторантов и заинтересованных лиц, г. Нижний Новгород, 10-11 декабря 2019г. – Нижний Новгород: Изд-во НГПУ им. Козьмы Минина, 2019. – С. 68-72.
6. Чекмарев А.А. Инженерная графика. Машиностроительное черчение: Учебник. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 396 с.

References

1. Artobolevskij I.I. Teoriya mekhanizmov i mashin: Ucheb. dlya vtuzov. – 4-e izd., pererab. i dop. – М.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1988. – 640 s.
2. Vavilov D.V., Eresko S.P., Iptyshev A.A. Metodologiya komp'yuternogo modelirovaniya zubchatyh peredach s normirovaniem pokazatelej tochnosti // Sovremennye tekhnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie. – Irkutsk: Irkutskij gosudarstvennyj universitet putej soobshcheniya. – 2011. – S. 173-176
3. Goncharova I.A., Kuretkova L.N. Primenenie bibliotek i prilozhenij dlya resheniya uchebnyh zadach v programme Kompas // Nauchnaya diskussiya: innovacii v sovremenном mire. 2017. № 1 (60). S. 43-48.
4. Dan'kov A.V., Tarakhovskiy A.Yu. Issledovanie i analiz ispol'zovaniya prikladnoj biblioteki SAPR "KOMPAS 3D" pri raschete razmernyh cepej // Innovacii v informacionnyh tekhnologiyah, mashinostroenii i avtotransporte: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, g. Kemerovo, 29-30 noyabrya 2017 g. – Kemerovo: Izd-vo KuzGTU im T.F. Gorbacheva, 2017. – S. 130-134.
5. Tarakhovskiy A.Yu. Geometricheskoe modelirovanie i avtomatizaciya processa ego izucheniya // Obrazovanie v cifrovuyu epohu: sbornik statej po materialam Mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoy konferencii prepodavatelej, studentov, aspirantov, doktorantov i zainteresovannyh lic, g. Nizhnij Novgorod, 10-11 dekabrya 2019g. – Nizhnij Novgorod: Izd-vo NGPU im. Koz'my Minina, 2019. – S. 68-72.
6. CHekmarev A.A. Inzhenernaya grafika. Mashinostroitel'noe cherchenie: Uchebnik. – М.: INFRA-M, 2014. – 396 с.

УДК 004.932:303.62:303.8:655.24:655.262

К ВОПРОСУ О РОЛИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ВОСПРИЯТИИ ИНФОРМАЦИИ

Э. Т. Адиева¹, М.Б. Юнусов², А.Ю. Бут³

¹ студент 1-го курса Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, 299015, Российская Федерация, elina22adieva0502@mail.ru

² студент 1-го курса Севастопольского государственного университета г. Севастополь, 299015, Российская Федерация, segat.bagov.98@mail.ru

³ научный руководитель, доцент кафедры Начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики Севастопольского государственного университета, Севастополь, 299015, Российская Федерация, butalexandr@rambler.ru

Аннотация

Работа посвящена исследованию особенностей восприятия визуальной информации в части выявления предпочтений респондентов относительно параметров оформления слайдов для презентаций. Выполнен обзор исследований и рекомендаций по данной теме, рассмотрены некоторые базовые элементы теории восприятия, в частности, теория визуального предположения, соотношение цветов, феномен бинокулярного соперничества, влияние типографики и эстетики на процесс чтения, восприятие сути сцены. Приведен анализ доступных литературных источников информации по теме работы. Проведено экспериментальное исследование влияния некоторых параметров изображений на слайдах на их восприятие зрителями. В рамках исследования выполнены: определение целевых параметров, создание презентации для опроса, проведение опроса в группах студентов, оценка полученных результатов. Участвовали такие параметры: цвета фона и текста, количество цветов текста на слайде, тип и размер шрифта, содержание заголовков, вид применяемых маркеров, соотношение текста и картинок, общий уровень «загруженности» слайда информацией. Были выполнены: выбор исследуемых параметров, создание набора слайдов с вопросами, непосредственно опрос в группах

студентов и количественный анализ полученных данных. Представлено описание результатов исследования с использованием средств визуализации Microsoft Office.

Ключевые слова: изображение, восприятие, визуальная информация, цвет, текст, шрифт, слайд, заголовок, маркер, опрос, исследование.

ON THE ROLE OF IMAGES IN THE PERCEPTION OF INFORMATION

E. T. Adieva¹, M.B. Yunusov², A.Yu. But³

¹1st year student of Sevastopol State University, Sevastopol, 299015, Russian Federation, elina22adieva0502@mail.ru

²1st year student of Sevastopol State University, Sevastopol, 299015, Russian Federation, segat.bagov.98@mail.ru

³Academic Supervisor, Associate Professor, Department of Descriptive Geometry, Engineering and Computer Graphics, Sevastopol State University, Sevastopol, 299015, Russian Federation, butalexandr@rambler.ru

Abstract

The work is devoted to the study of the perception of visual information in terms of identifying respondents' preferences regarding the design of presentation slides. A general review of studies and recommendations on this topic has been performed, some basic elements of the theory of perception have been considered, in particular, the theory of visual assumption, color correlation, the phenomenon of binocular rivalry, the influence of typography and aesthetics on the reading process, and perception of the essence of the scene. The analysis of available literary sources of information on the topic of work. An experimental study was made of the influence of certain parameters of images on slides on their perception by viewers. Within the framework of the study, the following were completed: determination of target parameters, creation of a presentation for a survey, conducting a survey in groups of students, evaluation of the results obtained. The following parameters took part: background and text colors, number of text colors on the slide, font type and size, content of headings, type of markers used, correlation of text and pictures, general level of information "load" on the slide. The following were performed: selection of the studied parameters, creation of a set of slides with questions, a direct survey in groups of students, and a quantitative analysis of the data obtained. A description of the results of the study using the visualization tools of Microsoft Office is presented.

Keywords: image, perception, visual information, color, text, font, slide, headline, marker, survey, research.

1. Введение

Представление визуальной информации встречается повсеместно: печатные издания, рекламные плакаты, научные отчёты, учебные презентации для аудитории и т.п. При этом, выбор параметров такого представления остаётся на усмотрении авторов и обычно является частью творческого процесса создания конкретного плаката, отчёта, афиши.

В то же время бесспорным является тот факт, что восприятие визуальной информации и эффект, производимый ею на зрителя, зависит от параметров самого изображения, а также способов и условий подачи этой информации. Данная область знаний довольно обширна и связана с науками о человеке, такими как психология восприятия [1] и даже физиология.

Восприятие изображений – черта индивидуальная, и всё же, некоторые закономерности являются общими для большинства людей, поэтому поддаются изучению, (в том числе – с применением методов статистики). Данной теме посвящено большое количество исследований.

Первые попытки провести систематизацию видимых цветов и выявить особенности психологического восприятия цвета были сделаны не художниками, а физиком Исааком Ньютоном (его книга «Оптика, или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света» увидела свет в 1704 г.). Потом Иоганном Вольфгангом Гёте (его труды о цвете *Nachtrage zur Farbenlehre* были опубликованы в 1810 г.) [2].

2. Анализ публикаций по теме работы

2.1 Некоторые базовые элементы теории восприятия

2.1.1. Роль цвета в восприятии. Изображение, запечатлевшее на плоской поверхности те или иные объекты, лишь частично передает ощущение, возникающее при восприятии этих же объектов в реальной жизни. Зрение, в отличие от различных искусственных средств фиксации изображения, является рецептором гораздо более широкого диапазона – мозг воспринимает и перерабатывает огромное количество

информации в гораздо большем интервале яркостей и цветовых оттенков, чем то, что мы видим на экране [2].

Любое пространство, любую визуальную информацию мы воспринимаем благодаря свету. Воспринимая создаваемые светом объемы, тени, рефлексy и отражения, мы быстро ориентируемся как в реальном, так и в экранном пространстве [2].

Обычно цвет несет дополнительную информацию, помогающую зрителю ориентироваться в реальной действительности и экранном пространстве, хотя в ряде случаев эта информация имеет для нас весьма существенное значение. Мы быстрее находим нужный нам автомобиль по его цвету. Но гораздо чаще цвет дополняет пространственные характеристики объекта или связан с эстетическим восприятием окружающего нас мира. Физиологические и психологические особенности восприятия различных цветов и их комбинаций во многом корреспондируют с чисто физическими законами, касающимися света и цвета [2].

Некоторые базовые элементы теории восприятия лаконично рассмотрены в работе [3] и основанной на ней [4]. Далее приведем основные положения из этих источников.

2.1.2. Теория визуального предположения.

По мнению психолога Р. Грегори визуальное восприятие зависит от нисходящей обработки, то есть от привычки человеческого мозга воспринимать определённые объекты. На примере вращающейся маски Чарли Чаплина (рис.1) он объяснил, как мы воспринимаем полую поверхность маски в виде выпуклостей путём подсознательного реконструирования нормального изображения, основываясь на наших представлениях о мире [3–5].



Рис. 1. Вращающаяся маска Чарли Чаплина из эксперимента Грегори [3,4].

2.1.3. Влияние соотношения цветов. Целью эксперимента Т. Саноки и Н. Сульмана, проведенного в 2011 году, было изучение влияния сочетаемости цветов на кратковременную па-

мять. В четырёх различных экспериментах гармоничные и дисгармоничные цветовые палитры (рис.2) попарно демонстрировались участникам в случайных сочетаниях с определённым интервалом времени.

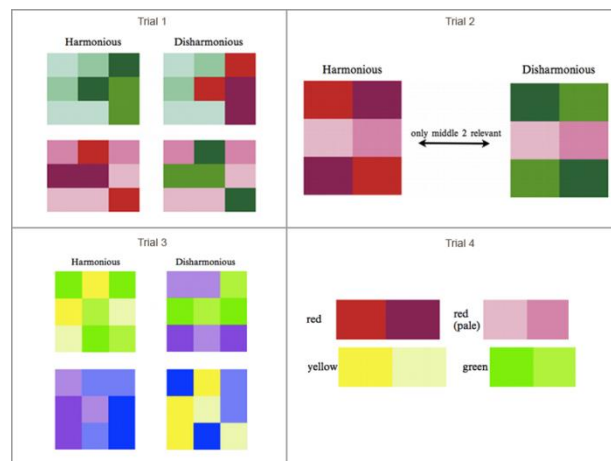


Рис. 2 Примеры палитр эксперимента Саноки и Сульмана [3,4].

В результате было установлено, что люди лучше способны усваивать и запоминать больше информации, воспринимая изображения с контрастной, но гармоничной цветовой гаммой, предпочтительно с сочетанием трех и менее цветов [3,4].

2.1.4. Бинокулярное соперничество. Бинокулярное соперничество заключается в доминировании одного и подавлении второго изображения, которые наблюдатель видит в одном месте. Данный эффект имеет место во время процесса обработки визуальной информации в течение короткого промежутка времени, когда глаза смотрят на два разнородных изображения, расположенных близко друг к другу, вследствие нерегулярного чередования сигналов от двух глаз. Это было подтверждено экспериментом с использованием МРТ, проведенным в 1998 году Ф. Тонг, К. Накаяма, Д. Томас Воган и Н. Канвишер (рис.3) [3,4].

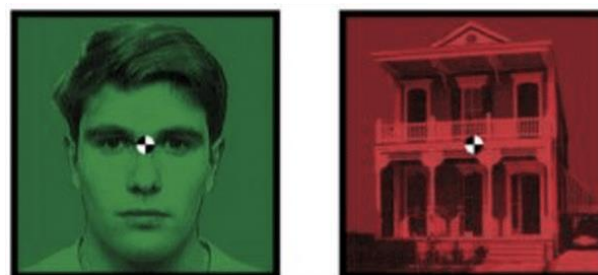


Рис. 3. Примеры изображений лица и дома в

эксперименте о бинокулярном соперничестве [3,4].

Авторы Д. Кармель, М. Аркаро, С. Кастнер и У. Хассон в своем эксперименте выяснили, что бинокулярным соперничеством можно манипулировать с помощью таких параметров стимула, как цвет, яркость, контрастность, форма, размер, пространственная частота или скорость. Манипулирование контрастом приводит к тому, что левый глаз воспринимает доминирующее изображение, в то время как правый – подавленное (рис.4) [4].

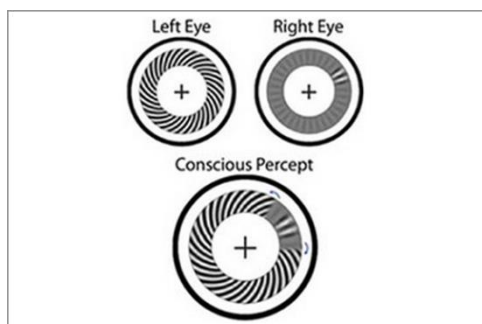


Рис. 4. Пример манипулирования контрастом [4].

2.1.5. Влияние типографики на восприятие.

Типографика представляет собой разработку и использование шрифтов в качестве средства визуальной коммуникации. Ее целью является улучшение визуального восприятия текста. Влияние типографики на настроение читателя и его способность решать различные задачи, в частности, подтверждено исследованием К. Ларсен и Р. Пикард. Оно показало, что хорошая типографика текста уменьшает для испытуемых кажущееся время прочтения и способствует последующему решению ими логических задач. А плохая – наоборот: не вызывая значительного уменьшения кажущегося времени, тормозит логическое мышление. Примеры использованных вариантов текста приведены на рис.5 [3,4].

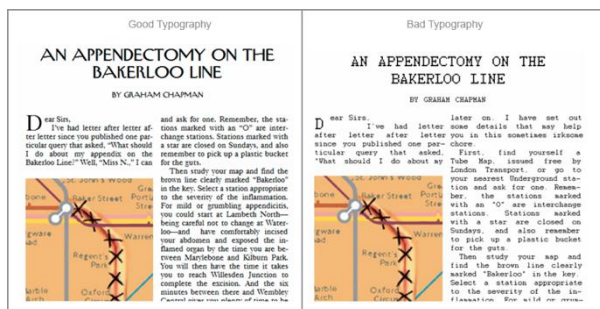
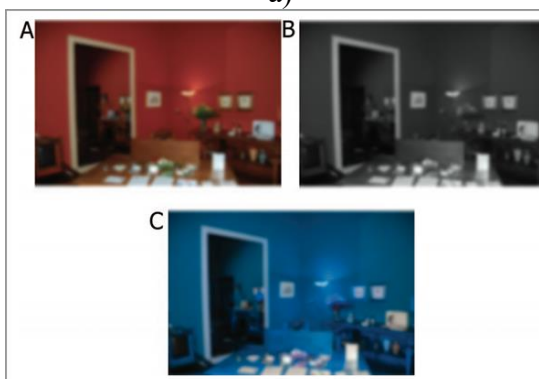


Рис. 5. Примеры текста с хорошей и плохой типографкой [3,4].

2.1.6. Восприятие сути сцены. Согласно Р.А. Ренсинку, восприятие сути сцены (восприятие сцены) – это визуальное восприятие окружающей среды в качестве наблюдателя в любой момент времени. Оно включает не только восприятие отдельных объектов, но и такие параметры, как их взаиморасположение, а также представление о том, что встречаются другие виды объектов (рис.6) [3,4].



а)



б)



в)

Рис. 6. Примеры фотографий для исследования восприятия сути сцены по Кастелано и Хендерсену: а) пример нормальных и размытых фотографий; б, в) примеры фотографий с аномальными и монохромными цветами [3,4].

Влияние цвета на способность восприятия сути сцены в 2008 году в ходе эксперимента изучили М.С. Кастелано и Дж.М. Хендерсон. Испытуемым демонстрировались нормальные и размытые фотографии с цветными и монохромными соответственно, а также фотографии с аномальными цветами (рис.6) [3,4].

В результате исследования выяснилось, что наблюдатели могли сопоставлять сцены и целевой объект в течение секунды. Причём, они делали это быстрее в случае правильно окрашенных цветных картинок, нежели черно-белых. В целом, цвета помогают определить структуру объектов. Пока цвета не слишком отличаются от привычных, людям легко понять смысл изображения [3].

2.2. Доступные литературные источники информации

Несмотря на важное значение данной темы, длительный период и большое число проведенных исследований, пока она не выделилась в отдельную научную дисциплину, которая освещала бы базовые закономерности, основные факторы и параметры процесса визуального представления информации, а также занималась бы вопросами систематизации накопленных знаний. Это побуждает любого автора плаката или презентации искать собственные, часто интуитивные подходы для наиболее эффективной подачи информации. Подспорьем может стать разнообразная литература.

В сети Интернет имеется множество рекомендательных статей (например, [6–8]) и даже видеоуроков с авторскими советами по созданию презентаций. В частности, по выбору размеров и типов шрифтов, цветовой композиции на слайдах, количества и размера картинок, использованию маркеров и абзацев и др. Предлагаемые в них советы выглядят вполне логично и убедительно. Однако, подобные материалы, за редкими исключениями, не содержат никаких библиографических ссылок, а, следовательно, отражают мнения их авторов, основанные, в лучшем случае, на собственном опыте, либо на обобщении информации из неизвестных источников.

Существует немало книг на тему создания презентаций. Как правило, они содержат развёрнутое описание теоретических основ и конкретные рекомендации по разным вопросам. Примерами могут служить [9,10].

Имеются также пособия некоторых издательств, например, рекомендации по оформлению презентаций в СПбГУ ИТМО [11,12]. А в

работе [13] авторы рассматривают распространённые ошибки и дают практические советы по созданию качественной презентации. К сожалению, ссылки на литературные источники не конкретизированы.

Встречаются аналитические статьи. Подобную направленность имеет работа [14]. В ней рассматриваются психологические и эстетические аспекты применения компьютерных шрифтовых гарнитур.

Однако в открытом доступе имеется ограниченное количество русскоязычных источников, в которых подобные рекомендации были бы подтверждены результатами каких-либо оригинальных исследований. Так, например, в работе [15] приведены результаты многочисленных исследований восприятия графической информации. Большинство из них рассматривает специфичные задачи, в основном они связаны со способностью человека уловить различия в размерах форм и элементов. Книга [16] содержит большой объём информации о физиологических законах цветового восприятия различных зрительных факторов, а также о законах цветопродукционного процесса.

Встречаются исследовательские статьи. Например, в [17] обобщаются результаты изучения закономерностей восприятия перспективы и прослеживается возрастная динамика перспективных построений. Вопросу выбора шрифтов посвящена работа [18]. В ней рассматривается использования алгоритма «ожидание минус восприятие» для оценки восприятия текстовых шрифтов, приводится характеристика «идеального» шрифта для набора текста в представлении испытуемых. В статье [19] рассматриваются психологические особенности восприятия шрифта, приводятся результаты исследования таких качеств шрифта, как конфигурация, жирность, наличие засечек, связь с традициями и культурой, соотношение со смыслом текста. Также представляет интерес работа [20], посвящена средствам визуальной односторонней коммуникации – информационной графике и метадиизайну текстовой информации. В ней, в частности отмечается эффективность и взаимодополняемость средств визуальной коммуникации.

Таким образом, из множества разрозненных источников становится очевидным, что данная тема неоднозначна, не систематизирована и представляет интерес для изучения. Кроме того, тема очень обширна. Поэтому для исследования в рамках студенческой работы был выбран её раздел, с которым, так или иначе, наиболее часто встречаются студенты и препода-

даватели – элементы оформления слайдов презентаций.

Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния некоторых параметров изображений на слайдах на их восприятие.

В рамках исследования решались следующие **задачи**:

- определение исследуемых параметров;
- создание презентации для опроса;
- проведение опроса в группах студентов;
- оценка полученных результатов.

2.3. Техника и результаты исследования

В рамках работы был проведён опрос среди студентов 1 курса Института развития города Севастопольского государственного университета, в котором приняли участие 137 человек.

Для этого был составлен ряд вопросов, касающихся структуры, дизайна, фона, цветовой гаммы, размера и типа шрифтов, использования заголовков, абзацев и маркеров на слайдах презентации.

Следует отметить, что во время опроса не было возможности менять характеристики освещённости и тональности помещения, поэтому данные факторы не учитывались. Хотя, очевидно, они имеют значение в подобном исследовании и могли бы повлиять на предпочтения респондентов.

2.3.1. Цвет фона слайда. Обычно фон и дизайн презентации выбирает автор на свое усмотрение. При этом очевидно, что тот или иной цвет фона должен сочетаться с цветом шрифта, чтобы слайд выглядел «удобнее» для зрителей. В первом вопросе нужно было выбрать фон, который лучше воспринимается. Результаты приведены на диаграмме (рис.7). Для большинства респондентов оказался предпочтительным классический белый фон.

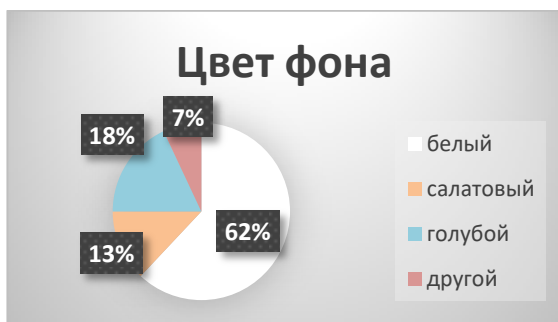


Рис. 7. Диаграмма результатов опроса по выбору цвета фона.

2.3.2 Цвет текста. Следующим был вопрос о цвете текста на определённом фоне. Здесь необходимо принимать во внимание, что на разных фонах могут казаться удобнее разные цвета текста. Для выбора респондентам были предоставлены слайды с разными фоновыми цветами и тремя цветами текста на каждом. Из результатов следует отметить, что для светлых фоновых цветов, предпочтение которых было выявлено в ответах на первый вопрос (белый, голубой, салатовый), подавляющее большинство испытуемых предпочло текст чёрного цвета. В качестве примера на рис.8 приведена диаграмма предпочитаемых цветов текста на условном светлом фоне, построенная по усреднённым значениям для вышеперечисленных светлых фоновых вариантов.



Рис. 8. Диаграмма предпочитаемых цветов текста на условном светлом фоне.

2.3.3. Количество цветов текста на слайде. При создании презентации и наполнении слайда текстом многие задумываются о выделении главной информации, кто-то хочет выделить заголовок, чтобы им заинтересовать зрителя. Поэтому был задан вопрос о количестве цветов текста на слайде: студентов попросили выбрать наилучшую комбинацию цветов на предпочтительном фоне (рис.9).



Рис. 9. Диаграмма результатов опроса о количестве цветов текста на одном слайде.

Выяснилось, что большинству зрителей лучше воспринимать текст двух цветов (например, поярче выделить ключевые слова или главные предложения, а второстепенный текст привести более рецессивным цветом).

2.3.4. Тип шрифта. В настоящее время существует большое количество разнообразных шрифтов, и многие из них являются популярными. У студентов спросили, какие шрифты являются более понятными и лучше воспринимаются. Результаты ответов в форме диаграммы приведены на рис.10.

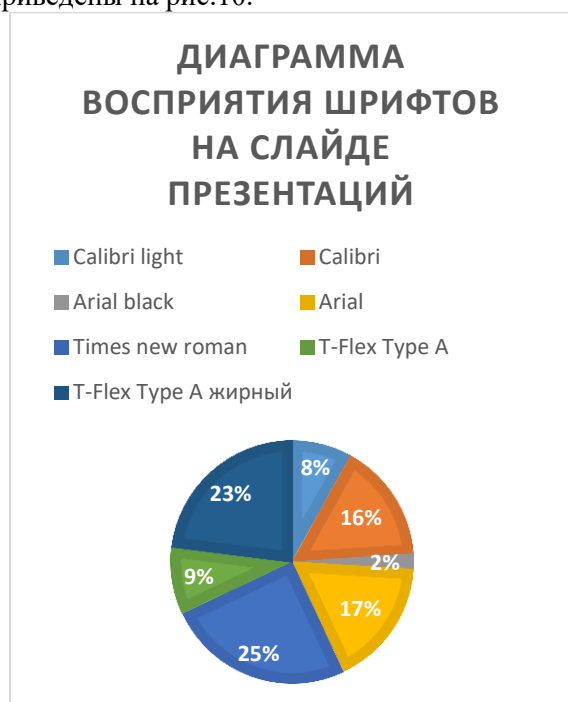


Рис. 10. Диаграмма с результатами опроса о лучше воспринимающемся шрифте.

Из диаграммы видно, что самые «читаемые» и хорошо воспринимающиеся шрифты – это Times New Roman и чертежный шрифт (в

данном случае это T-Flex type A жирный), их выбрало большинство опрошенных. Далее с разницей в 1% идут Arial и Calibri.

2.3.5 Размер шрифта. 94% студентов на вопрос о размере шрифта, который лучше воспринимается, выбрали 40-44 шрифт (в опросе показывалось одно и то же предложение, написанное одним шрифтом, но разным размером от 28 до 52, контекст при этом не учитывался).

2.3.6 Содержание заголовков. В вопросе о том, что должны содержать заголовки слайдов, были приведены разные примеры заголовков и предложены варианты ответов. 51% студентов выбрали, что заголовок должен быть четким, в высшей степени ясным, точным и определенным. Остальные 49% считают, что заголовок должен быть тезисным. Хотя в опроснике были такие варианты ответа как: «заголовок не нужен», «заголовок должен содержать информацию о ком или о чем говорится в тексте» или «должно быть одно ключевое слово всего слайда».

2.3.7. Вид используемых маркеров. Многие преподаватели и студенты пользуются маркерами, чтобы показать пункты плана, классифицировать информацию или создать понятный список в презентации. В следующем опросе выбирали вид маркера («жирная точка», «галочка», «стрелочка» и т.п.). Результаты выбора:

- - 39%
- - 17%
- ✓ - 19%
- ❖ - 9%
- - 7%
- - 4%
- ✚ - 5%

Как видно, большинству студентов нравится стандартный и часто используемый маркер «точка». В данном случае самый простой является лучше воспринимаемым.

2.3.8. Соотношение текста и картинок. Для определения наилучшего соотношения текста и картинок было предложено 3 вида слайдов. На первом соотношение составляло 50:50; на втором был приведен этот же текст в более детальной форме и без картинок; на третьем слайде было мало текста и большое количество картинок. 89% студентов выбрали соотношение 50:50 (пример слайда – рис.11).



Рис. 11. Слайд, который выбрало большинство респондентов [21].

2.3.9 Уровень «загруженности» слайда информацией. Каждый автор презентации имеет свое видение типа и объема информации, которая должна быть представлена на слайде. При этом, содержание слайда может зависеть от тематики работы и характера выводимых данных. Также надо учитывать особенности целевой аудитории. Как же сделать правильно, чтобы, например, студенты поняли смысл, содержание слайда и как можно больше запомнили? Данный вопрос является комплексным и неоднозначным. В попытке исследовать его для определения общего уровня «загруженности» слайда информацией были показаны 4 вида слайдов:

- А) малое количество текста и одна картинка;
 - Б) малое количество текста и две картинки;
 - В) большое количество текста и одна картинка;
 - Г) большое количество текста и две картинки.
- Текст был один и тот же: на слайдах А) и Б) он был сжат, а в остальных – полный текст.

По результатам опроса, 86% респондентов выбрали слайд с небольшим содержанием текста и двумя картинками, максимально подходящим к теме (рис.12).

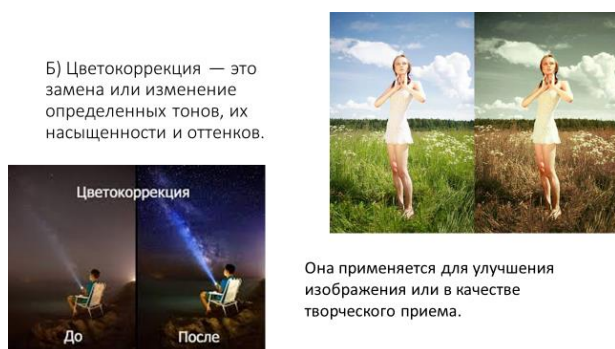


Рис. 12. Слайд, который, по результатам опроса оказался лучше воспринимаемым [22,23].

Заключение

Визуальное восприятие, являясь сложным и многогранным процессом, играет важную роль в жизни человека. Понимание того, как люди воспринимают визуальную информацию, и выявление системных закономерностей помогают улучшить процесс обучения.

На основании полученных результатов исследования могут быть предложены следующие советы по созданию презентаций:

- использование светлых фоновых цветов;
- на светлом фоне цвет основного текста – лучше чёрный или близкий к нему;
- для выделения важных моментов можно выбрать второй – яркий цвет;
- рекомендуемый шрифт – Times New Roman или чертежный жирный;
- размер шрифта – в пределах 40 – 44 пт.;
- заголовки слайдов должны быть четкими и лаконичными;
- тип используемых маркеров – наиболее простые, например «жирная точка»;
- соотношение текста и картинок – примерно 50:50;
- не перегружать слайд информацией. Она должна отражать основной смысл вопроса.

Исследование не претендует на репрезентативность, а является попыткой выявить предпочтения реальной студенческой аудитории в условиях образовательного процесса.

Данная тема требует более детальных исследований с конкретизацией условий экспериментов и обработкой их результатов с применением методов математической статистики.

Список литературы

1. Любимов В.В. Психология восприятия: учебник. – Москва: ЧеРо: Эксмо: МПСИ, 2007. – 471 с., ил.
2. Познин В.Ф. Техника и технология СМИ. Радио- и тележурналистика. Учебник. – М.: Юрайт, 2016. – 362 с.
3. Seeing is Believing: 5 Studies about Visual Information Processing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://piktochart.com/blog/5-psychology-studies-that-tell-us-how-people-perceive-visual-information> (дата обращения: 10.03.2020).
4. 5 психологических исследований по восприятию визуальной информации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lpgenerator.ru/blog/2015/12/18/5-psihologicheskikh-issledovanij-po-vostrivatiyu-vizualnoj-informacii/> (дата обращения: 10.03.2020).
5. Гимаев Р.Н. Картографирование в эпоху информационного всплеска / Р.Н. Гимаев, Г.Р. Хасанова // Молодежный научный вестник. Стерлитамак, 2018. №1 (26). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mnvnauka.ru/2018/01/Gimaev.pdf>.
6. Инструкция для недизайнеров: как правильно создать презентацию. Блог Tilda Publishing [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tilda.education/articles-how-to-create-presentation> (дата обращения: 10.03.2020).
7. Как сделать классную презентацию, если вы не дизайнер. TexTerra [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://texterra.ru/blog/kak-sdelat-klassnuyu-prezentatsiyu-esli-vy-ne-dizayner.html> (дата обращения: 10.03.2020).
8. Правила создания презентации. COMagency [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://comagency.ru/presentation-rules> (дата обращения: 10.03.2020).
9. Грибан О.Н. Мастер презентаций. Издательские решения, 2016. – 206 с.
10. Кушнер М. Создание презентаций для чайников. Организация, создание и разработка, примеры. – М.: Диалектика, 2012. – 544 с.
11. Рекомендации по оформлению электронной презентации в СПбГУ ИТМО. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://edu.ifmo.ru/file/pages/211/rekomendacii_po_oformleniyu_elektronnyh_prezentatsiy.pdf (дата обращения: 10.03.2020).
12. Иванова Н. Ю. Подготовка презентаций для курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ / Н. Ю. Иванова, А. А. Малинин. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 44 с. Илл. – 49.
13. Островский С.Л. Как сделать презентацию к уроку? – М.: ООО «Чистые пруды», 2012. – 29 с.
14. Криштопайтис В. В. Шрифт как визуальное средство коммуникации / В. В. Криштопайтис // Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. Мистецтвознавство. Архітектура. – 2008. – №5. – С. 72 – 77.
15. Kennedy Elliott 39 studies about human perception in 30 minutes [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://medium.com/@kennelliott/39-studies-about-human-perception-in-30-minutes-4728f9e31a73> (дата обращения: 10.03.2020).
16. Марк Д. Фершильд Модели цветового восприятия: перевод с англ. Санкт-Петербург, А. Шадрин, 2006. 439 с. [Mark D. Fairchild Color appearance models. Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology, USA, 2004].
17. Гончаров О.А. Закономерности восприятия и изображения перспективных отношений / О.А. Гончаров. – Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна». 2009. № 4. – 15 с.
18. Токарь О. В. Оценка восприятия шрифтов с использованием алгоритма «ожидание минус восприятие» / О. В. Токарь // Труды БГТУ. Сер. IX, Издат. дело и полиграфия. – 2009. – Вып. XVII. – С. 72 – 76.
19. Новикова Е.Ю. Психология восприятия шрифта // Дизайн. Теория и практика. – 2015. – № 19. – С.31– 40. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docplayer.ru/42135684-Psihologiya-vostrivatiya-shrifa.html> (дата обращения: 10.03.2020).
20. Никулова, Г.А. Средства визуальной коммуникации – инфографика и метадизайн / Г.А. Никулова, А.В. Подобных // Образовательные технологии и общество. – 2010. – № 2. – Т. 13. – С. 369–387.
21. Что такое информация — понятие, виды и свойства информации, ее передача, обработка и хранение. KtoNaNovenkogo.ru [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ktonanovenkogo.ru/voprosy-i-otvety/informaciya-cto-eto-takoe-vidy-svojstva-informacii.html> (дата обращения: 10.03.2020).
22. Цветокоррекция изображений. FOTODOK [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://spbphotodok.ru/cvetokorrekcija-izobrazhenij> (дата обращения: 10.03.2020).
23. Цветокоррекция в семи уроках Photoshop. PHOTOSHOP SECRETS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://basmanov.photoshopsecrets.ru/cvetokorrekcija-v-semi-urokakh/> (дата обращения: 10.03.2020).

References

1. Lyubimov V.V. *Psichologiya vostrivatiya: uchebnik* [Psychology of perception: a textbook]. Moscow: CHeRo: Eksmo Publ.: MPSI, 2007, 471 p., fig.
2. Poznin V.F. *Tekhnika i tekhnologiya SMI. Radio- i telezhurnalistika. Uchebnik* [Technique and technology media. Radio and television journalism. Textbook]. Moscow: Yurajt Publ., 2016, 362 p.
3. Seeing is Believing: 5 Studies about Visual Information Processing. Available at: <https://piktochart.com/blog/5-psychology-studies-that-tell-us-how-people-perceive-visual-information> (date accessed: 10.03.2020).

4. 5 psihologicheskikh issledovaniy po vospriyatiyu vizual'noj informacii [5 psychological studies on the perception of visual information]. Available at: <https://lpgenerator.ru/blog/2015/12/18/5-psihologicheskikh-issledovaniy-po-vospriyatiyu-vizualnoj-informacii/> (date accessed: 10.03.2020).
5. Gimaev R.N. Hasanova G.R. Kartografirovaniye v epohu informacionnogo vspleska [Mapping in the era of information surge] *Molodezhnyy nauchnyy vestnik*. Sterlitamak, 2018. No.1 (26). Available at: <http://www.mnvnauka.ru/2018/01/Gimaev.pdf>.
6. Instrukciya dlya nedizajnerov: kak pravil'no sozdat' prezentatsiyu [Instructions for non-designers: how to create a presentation] *Blog Tilda Publishing*. Available at: <https://tilda.education/articles-how-to-create-presentation> (date accessed: 10.03.2020).
7. Kak sdelat' klassnuyu prezentatsiyu, esli vy ne dizayner [How to make a cool presentation if you are not a designer] *TexTerra*. Available at: <https://texterra.ru/blog/kak-sdelat-klassnuyu-prezentatsiyu-esli-vy-ne-dizayner.html> (date accessed: 10.03.2020).
8. Pravila sozdaniya prezentatsii [Rules for creating a presentation] *COMagency*. Available at: <http://comagency.ru/presentation-rules> (date accessed: 10.03.2020).
9. Griban O.N. *Master prezentatsij* [Presentation Wizard]. Izdatel'skie resheniya Publ., 2016, 206 p.
10. Kushner M. Sozdanie prezentatsij dlya chajnikov. Organizatsiya, sozdanie i razrabotka, primery [Creating presentations for dummies. Organization, creation and development, examples]. Moscow: Dialektika Publ., 2012, 544 p.
11. Rekomendatsii po oformleniyu elektronnoy prezentatsii v SPbGU ITMO [Recommendations for the design of an electronic presentation at SPbSU ITMO]. Available at: http://edu.ifmo.ru/file/pages/211/rekomendatsii_po_oformleniyu_elektronnyh_prezentatsiy.pdf (date accessed: 10.03.2020).
12. Ivanova N.Yu., Malinin A.A. Podgotovka prezentatsij dlya kursovyykh proektov (rabot) i vypusknyykh kvalifikatsionnykh rabot [Preparation of presentations for course projects (works) and final qualification works]. St. Petersburg: St. Petersburg State University ITMO Publ., 2009, 44 p., fig. – 49.
13. Ostrovskiy S.L. Kak sdelat' prezentatsiyu k uroku? [How to make a presentation for the lesson?]. Moscow: Chistye Prudy LLC Publ., 2012, – 29 p.
14. Krishtopajts V. V. SHrift kak vizual'noe sredstvo kommunikatsii [Font as a visual means of communication] *Visnik Harkivs'koï derzhavnoï akademii dizajnu i mistectv. Mistectvoznnavstvo. Arhitektura*, 2008, No. 5, pp. 72 – 77.
15. Kennedy Elliott 39 studies about human perception in 30 minutes. Available at: <https://medium.com/@kennelliott/39-studies-about-human-perception-in-30-minutes-4728f9e31a73> (date accessed: 10.03.2020).
16. Mark D. Fairchild Color appearance models. Munsell Color Science Laboratory, Rochester Institute of Technology, USA, 2004.
17. Goncharov O.A. Zakonomernosti vospriyatiya i izobrazheniya perspektivnykh otnoshenij [Patterns of perception and image of perspective relations]. *Psihologicheskij zhurnal Mezhdunarodnogo universiteta prirody, obshchestva i cheloveka «Dubna»*, 2009, No. 4, 15 p.
18. Tokar' O. V. Ocenka vospriyatiya shriftov s ispol'zovaniem algoritma «ozhidanie minus vospriyatie». *Trudy BGTU* [Transactions of BSTU], Publ. business and printing, 2009, Issue XVII, pp. 72 – 76.
19. Novikova E.Yu. Psihologiya vospriyatiya shrifta [Psychology of font perception]. *Dizajn. Teoriya i praktika*. 2015, No. 19, pp. 31 – 40. Available at: <http://docplayer.ru/42135684-Psihologiya-vospriyatiya-shrifta.html> (date accessed: 10.03.2020).
20. Nikulova, G.A., Podobnyh A.V. Sredstva vizual'noj kommunikatsii – infografika i metadizajn [Means of visual communication - infographics and meta-design] *Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo*. 2010, No. 2, Vol. 13, pp. 369–387.
21. CHto takoe informatsiya – ponyatie, vidy i svoystva informatsii, ee peredacha, obrabotka i hranenie [What is information - the concept, types and properties of information, its transmission, processing and storage] *KtoNaNovenkogo.ru*. Available at: <https://ktonanovenkogo.ru/voprosy-i-otvety/informatsiya-chto-eh-to-takoe-vidy-svoystva-informatsii.html> (date accessed: 10.03.2020).
22. Cvetokorreksiya izobrazhenij [Color correction of images] *FOTODOK*. Available at: <https://spbfotodok.ru/cvetokorreksiya-izobrazhenij> (date accessed: 10.03.2020).
23. Cvetokorreksiya v semi urokah Photoshop [Color grading in seven Photoshop tutorials] *PHOTOSHOP SECRETS*. Available at: <https://basmanov.photoshopsecrets.ru/cvetokorreksiya-v-semi-urokakh/> (date accessed: 10.03.2020).

РАЗДЕЛ 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ

УДК 681.5.015

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ ВХОД-ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ

В. С. Овдей¹ аспирант, Р. Ю. Ткачев² канд. техн. наук

¹ГОУ ВПО «Донбасский государственный технический университет», пр. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР, 94204, nazrak228@mail.ru

²ГОУ ВПО «Донбасский государственный технический университет», пр. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР, 94204, nazrak228@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен метод структурно-параметрической идентификации линеаризованных объектов управления с применением модифицированного метода В. Висковатова. В качестве исходных данных используются дискретные отсчеты реакции исследуемого объекта на ступенчатое входное воздействие. В результате эксперимента и необходимых вычислительных операций получают значения элементов цепной дроби, после чего происходит ее свертка к виду дискретной передаточной функции. При необходимости представления математической модели в непрерывной форме следует воспользоваться согласованным обратным z -преобразованием. Подчеркивается важность информации о начальном характере движения объекта при проведении процедуры идентификации и отсутствие необходимости съема данных на протяжении всей длительности переходного процесса в случае обнаружения сходимости решения в идентифицирующей матрице. Данный метод имеет практическое значение в связи с его простотой и малым объемом вычислений. Предлагаемое сокращение количества измерений и расчетов в данной работе уменьшает затраты на время идентификации, позволяя выделить важную часть переходной характеристики.

Метод полезен специалистам по автоматизации металлургических и теплоэнергетических производственных процессов и применим в целях идентификации модели объекта управления.

Ключевые слова: идентификация промышленных объектов, ступенчатое воздействие, согласованное z -преобразование, структурно-параметрическая идентификация, модифицированный метод В. Висковатова, дискретные вход-выходные данные, цепные дроби.

STRUCTURAL AND PARAMETRIC IDENTIFICATION OF OBJECTS CONTROL BASED ON DISCRETE INPUT-OUTPUT DATA

V. S. Ovdei¹ graduate student, R. IU. Tkachev² cand. sc. tech

¹SEI HTE Donbass Technical State University, Lenina ave., 16, Alchevsk, LPR, 94204, nazrak228@mail.ru

²SEI HTE Donbass Technical State University, Lenina ave., 16, Alchevsk, LPR, 94204, nazrak228@mail.ru

Abstract

The method of structural-parametric identification of linearized control objects using the modified method of V. Viskovatov is considered. As the initial data, discrete readings of the reaction of the investigated object to a step input effect are used. As a result of the experiment and the necessary computational operations, the values of the elements of the continued fraction are obtained, after which it is convolved to the form of a discrete transfer function. If you need to represent the mathematical model in a continuous form, you should use the consistent inverse z -transform. The importance of information on the initial nature of the object's movement during the identification procedure is emphasized and there is no need to collect data throughout the entire duration of the transition process in case of convergence of the solution in the identification matrix. This method is of practical importance due to its simplicity and small amount of calculations. The proposed reduction in the number of measurements and calculations in this paper reduces the cost of identification time, allowing you to highlight an important part of the step response.

The method is useful to specialists in the automation of metallurgical and heat power production processes and is applicable in order to identify the model of the control object.

Keywords: identification of industrial facilities, step excitation, consistent z-transform, structural-parametric identification, modified V. Viskovatov method, discrete input-output data, continued fractions.

1. Общие сведения

На данный момент разработано огромное количество методов по идентификации объектов исследования в научных, технических, экономических и др. сферах деятельности. Все они обладают своими особенностями, формами представления результирующей модели и областями применения на практике. Широкое применение методов идентификации обусловлено тем, что во многих случаях применение аналитических методов сопряжено с различного рода трудностями, когда произвести идентификацию модели бывает намного проще, а полученный при этом результат является также практически более ценным. В некоторых случаях получить модель на основе аналитических методов в принципе не представляется возможным, так что идентификация в таких случаях служит единственно возможным "интерфейсом между реальным миром приложений и математическим миром теории автоматического управления и абстрактных моделей", как писал Л. Льюнг в своей работе [1]. Для специалистов по автоматизации особый интерес представляют методы идентификации, позволяющие достаточно точно определять как структуру, так и параметры математической модели объекта управления во время пуско-наладочных работ.

Большинство работ по идентификации посвящены вопросу параметрической идентификации, т.е. определению параметров моделей известной структуры.

Наиболее известным методом является графический способ, который позволяет использовать для описания процесса достаточно простую модель объекта в виде апериодического звена первого порядка или второго с запаздыванием [2]. Более лучшие результаты могут быть получены, если использовать методы, которые используют большее количество информации (данных), например, основанные на вычислении площади под кривой разгона или импульсной характеристикой процесса [3]. Это позволяет не ограничиваться моделями малых порядков. Однако данный метод требует объемное количество вычислительных процедур. Также существуют комбинированные методы идентификации, использующие в качестве входного воздействия сигнал с импульсными и синусоидальными составляющими. Данный подход позволяет одновременно оценить ха-

рактер динамики объекта во временной и частотной областях [4].

Однако следует отметить, что во всех параметрических методах принятие окончательного решения о структурных свойствах системы во многом зависит от опыта исследователя.

Поэтому актуальными являются исследования связанные с разработкой новых методов структурно-параметрической идентификации, позволяющих обеспечить получение моделей высокой точности, без участия разработчика в принятии ключевых решений.

2. SP-идентификация объектов управления с применением аппарата цепных дробей

Особый интерес представляет подход к структурно-параметрической идентификации (SP-идентификации), основанный на применении непрерывных дробей, предложенный д.т.н. В.Я. Карташевым в работах [5-7].

Данный метод представляет собой универсальный детерминированный подход к структурно-параметрической идентификации, изначально ориентированный на работу с дискретной информацией, что обуславливает его актуальность ввиду широкого распространения цифровых систем управления. Идея основана на получении дискретной передаточной функции путем свертки цепной дроби, получаемой из идентифицирующей матрицы В. Висковатова [5]. Процесс идентификации разделен на четыре основных этапа.

На первом этапе проводится непосредственно идентифицирующий эксперимент по снятию реакции объекта на ступенчатое входное воздействие. Значения входа и выхода объекта при этом измеряются дискретно, т.е., отсчеты производятся через равные между собой интервалы времени. В результате получают массивы данных, соответствующие значениям входного $x(i\Delta t)$ и выходного $y(i\Delta t)$ сигналов

$$\begin{aligned} x(i \cdot \Delta t) &= 1, \\ y(i \cdot \Delta t) &= h(i \cdot \Delta t), \end{aligned}$$

где $i = 0, 1 \dots n$ – номер отсчета сигнала;

Δt – шаг дискретизации данных, с.

$h(i\Delta t)$ – дискретная переходная характеристика объекта идентификации.

На втором этапе проводится расчет и построение идентифицирующей матрицы по модифицированному методу В. Висковатова с по-

следующим ее анализом. Структура данной матрицы выглядит следующим образом

$$\begin{pmatrix} x(i \cdot \Delta t) & x((i+1) \cdot \Delta t) & \dots & x(n \cdot \Delta t) \\ y(i \cdot \Delta t) & y((i+1) \cdot \Delta t) & \dots & y(n \cdot \Delta t) \\ a_{31} & a_{32} & \dots & a_{3m} \\ a_{41} & a_{42} & \dots & a_{4m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В (1) первые две строки являются результатами измерений, причем предполагается, что входной сигнал является постоянным и равняется единице (единичное ступенчатое воздействие). Остальные строки расчетные, каждый элемент которых определяется выражением

$$a_{v,w} = \frac{a_{v-2,w+1}}{a_{v-2,1}} - \frac{a_{v-1,w+1}}{a_{v-1,1}},$$

где v, w – номер строки и столбца соответственно.

В случае сходимости решения (появление нулевой строки) переходят к следующему этапу. В противном случае проводят заново эксперимент по снятию переходной характеристики, но с другим шагом дискретизации отсчетов.

На третьем этапе проводится процедура свертки цепной дроби вида

$$W_{mm}(z) = \frac{y(k \cdot \Delta t) \cdot z^{-d}}{1 + \frac{a_{31} \cdot z^{-1}}{1 + \frac{a_{41} \cdot z^{-1}}{\ddots \frac{1}{1 + a_{n1} \cdot z^{-1}}}}},$$

$y(k \cdot \Delta t)$ – первое ненулевое значение выходного сигнала;

d – количество нулевых значений выходного сигнала.

Расчет проводится снизу вверх, начиная с элемента первого столбца, стоящего перед нулем, и заканчивая первым ненулевым значением выходного сигнала объекта. В результате данной операции получают дискретную передаточную функцию модели.

На четвертом этапе, при необходимости, проводится преобразование полученной модели в непрерывный вид путем обратного согласованного z -преобразования.

Рассматриваемый метод идентификации позволяет определить достаточно точно как численные значения параметров модели, так и ее порядок в соответствии с возможностями технических и вычислительных средств авто-

матизации, используемых в процессе проведения эксперимента и расчетов.

Исследования [5-7] в процессе идентификации рассматривают всю кривую переходного процесса и проводят отсчеты от начала движения выходной координаты до последующей установившейся точки равновесия. Данная работа рассматривает возможность сокращения длительности воздействия на объект, тем самым сократив время эксперимента и количество расчетов.

3. Информативность данных начального участка переходной характеристики в процессе структурно-параметрической идентификации

Рассмотрим объект с непрерывной передаточной функцией

$$W_{об}(s) = \frac{1}{\prod_{r=1}^N (T_r \cdot s + 1)}, \quad (2)$$

где s – оператор Лапласа;

T_r – r -тая постоянная времени, с;

N – количество апериодических звеньев.

Объект представляет собой последовательную цепочку N апериодических звеньев первого порядка и обладает единичным коэффициентом пропорциональности.

Выразим входящие в передаточную функцию (2) звенья через множители A , B , C и до n -го множителя в порядке возрастания постоянной времени, т.е.,

$$\begin{aligned} A(s) &= \frac{1}{(T_1 \cdot s + 1)}, \\ B(s) &= \frac{1}{(T_2 \cdot s + 1)}, \\ &\dots \\ N(s) &= \frac{1}{(T_N \cdot s + 1)}, \end{aligned}$$

где $T_1 < T_2 < \dots < T_N$.

Структурная схема объекта в виде последовательного соединения звеньев представлена на рис. 1.

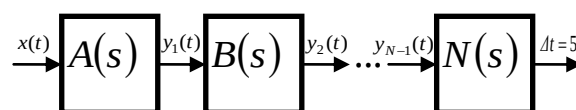


Рис.1. Структурная схема рассматриваемого объекта управления.

Рассмотрим описание выходных сигналов из звена $A(s)$ и $B(s)$ в виде функций времени

$$y_1(t) = 1 - 1 \cdot e^{-\frac{t}{T_1}},$$

$$y_2(t) = 1 + \frac{T_1}{T_2 - T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

В случае $T_1 \ll T_2$ можно утверждать, что с наступлением времени t_{1ycm} , которое соответствует достижению выходным сигналом $y_1(t)$ значения коэффициента передачи (в данном примере для всех звеньев является единичным), сигналы принимают следующий вид

$$y_1(t) = 1 - 1 \cdot e^{-\frac{t_{1ycm}}{T_1}} = 1,$$

$$y_2(t) = 1 + \frac{T_1}{T_2 - T_1} \cdot e^{-\frac{t_{1ycm}}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Учитывая допущение $T_1 \ll T_2$

$$y_2(t) = 1 + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} \approx 1 - 1 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}.$$

Более точное выражение

$$y_2(t) = 1 - 1 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}} - \Delta T_{12},$$

где ΔT_{12} – составляющая переходного процесса, связанная с разностью между двумя постоянными времени T_1 и T_2 . Ее значение тем меньше, чем больше разность между данными параметрами. Именно поэтому данной составляющей можно пренебречь при условии $T_1 \ll T_2$.

Таким образом, при большой разнице в инерционности входящих в структуру объекта звеньев становится необходимым исследование именно начального участка переходной характеристики, где все составляющие экспоненты не обращаются в ноль.

В противном случае, будет теряться порядок за порядком с течением очередного момента времени t_{ycm} .

Поэтому в процессе идентификации следует проводить измерения с шагом квантования, меньшим по размерности, чем время переходного процесса в наименее инерционном звене. Иначе в звене закончится переходный процесс и его влияние на общую динамику объекта не будет определено при расчетах должным образом, а лишь приведет к погрешности определе-

ния остальных параметров объекта в связи с наличием ΔT -составляющих.

При исследовании влияния выбора различных участков переходной характеристики на точность структурно-параметрической идентификации с помощью цепных дробей были определены следующие основные закономерности:

- для качественной идентификации не обязательно измерять весь переходный процесс, достаточно лишь начального участка, учитывая при этом рабочий диапазон шага дискретизации и необходимое количество точек для исследуемого объекта;
- разница в инерционности отдельно взятых звеньев на несколько порядков и выше приводит к потере информации об истинной структуре объекта.

Выбор шага дискретизации необходимо производить предусмотрительно, опираясь на следующие факторы:

- ограничения единичной окружности z-плоскости согласованного z-преобразования, наличие его многолистности;
- наличие звена транспортного запаздывания [5];
- инерционные свойства входящих в структуру объекта звеньев.

В работах [5-7] для процедуры идентификации необходимо было проводить несколько раз процедуру структурно-параметрической идентификации с вариацией шага с целью определения существующих в НПФ на s-плоскости нулей и полюсов, определенных для ДПФ на z-плоскости.

Однако стоит отметить, что малая вариация шага и съем характеристики на протяжении всего переходного процесса не даст положительный результат в определении тех звеньев, которые обладают гораздо меньшей инерционностью, чем выбранный шаг дискретизации.

4. Пример

В качестве примера рассмотрим смоделированный в среде Simulink MATLAB процесс идентификации объекта с непрерывной передаточной функцией (НПФ)

$$W(s) = \frac{1}{(4,63 \cdot s + 1) \cdot (17,2 \cdot s + 1) \cdot (124,8 \cdot s + 1)},$$

состоящей из трех апериодических звеньев первого порядка.

Переходные характеристики каждого из этих звеньев показаны на рис.2.

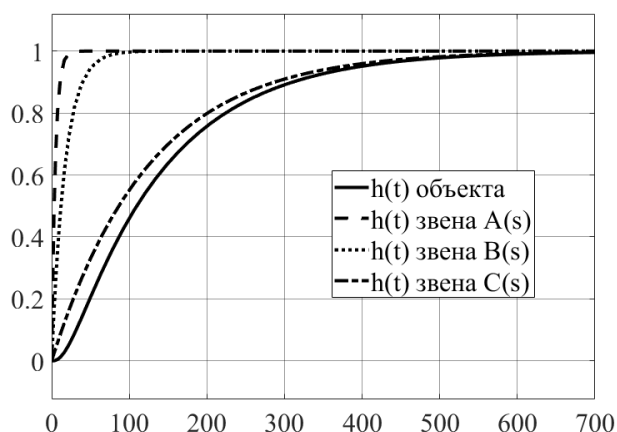


Рис 2. Переходные характеристики исследуемого объекта и входящих в его состав звеньев.

Эксперимент 1. В качестве шага дискретизации выберем период отсчета $\Delta t = 60$ с.

Данные идентифицирующей матрицы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Данные идентифицирующей матрицы для эксперимента 1.

	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
a_{1i}	1	1	1	1	1
a_{2i}	0,262	0,540	0,715	0,824	0,891
a_{3i}	-1,061	-1,731	-2,146	-2,403	-2,561
a_{4i}	0,429	0,708	0,881	0,988	---
a_{5i}	-0,002	-0,032	-0,039	---	---
a_{6i}	0,002	0,004	---	---	---
a_{7i}	≈ 0	---	---	---	---

Полученная конечная непрерывная дробь

$$W_{mm}(z) = \frac{0,262 \cdot z^{-1}}{1 + \frac{-1,061 \cdot z^{-1}}{1 + \frac{0,429 \cdot z^{-1}}{1 + \frac{-0,002 \cdot z^{-1}}{1 + 0,002 \cdot z^{-1}}}}}$$

ДПФ вычисленной математической модели

$$W_{mm}(z) = \frac{0,262 \cdot z^2 + 0,108 \cdot z + 0,0002}{z^2 - 0,649 \cdot z + 0,019}$$

Нули ДПФ:

- $z_{n1} = -0,410$;
- $z_{n2} = -0,002$.

Полюса ДПФ:

- $z_{n1} = 0,618$;
- $z_{n2} = 0,031$.

Нули НПФ – отсутствуют.

Полюса НПФ:

- $s_{n1} = -0,008$;

- $s_{n2} = -0,058$.

Тогда НПФ имеет вид

$$W_{mm1}(s) = \frac{K_o}{(124,810 \cdot s + 1) \cdot (17,202 \cdot s + 1)}$$

Как видно из эксперимента 1, шаг в 60 секунд пропустил звено А. Погрешность, вызванная неопределенным звеном, незначительная:

- $\Delta T_{o3} = +0,01$;
- $\Delta T_{o2} = +0,002$.

Для расчетов были использованы данные на участке первых 420 с.

Эксперимент 2. В качестве шага дискретизации выберем период отсчета $\Delta t = 30$ с.

Данные идентифицирующей матрицы представлены в таблице 2.

Таблица 2. Данные идентифицирующей матрицы для эксперимента 2.

	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}
a_{1i}	1	1	1	1	1
a_{2i}	0,091	0,262	0,416	0,540	0,638
a_{3i}	-1,877	-3,564	-4,928	-6,006	-7,524
a_{4i}	0,977	1,938	2,727	3,353	3,846
a_{5i}	-0,084	-0,164	-0,230	-0,282	---
a_{6i}	0,021	0,042	0,059	---	---
a_{7i}	-0,001	-0,003	---	---	---
a_{8i}	≈ 0	---	---	---	---

Полученная конечная непрерывная дробь

$$W_{mm}(z) = \frac{0,091 \cdot z^{-1}}{1 + \frac{-1,877 \cdot z^{-1}}{1 + \frac{0,977 \cdot z^{-1}}{1 + \frac{-0,084 \cdot z^{-1}}{1 + \frac{0,021 \cdot z^{-1}}{1 - 0,001 \cdot z^{-1}}}}}}$$

ДПФ вычисленной математической модели

$$W_{mm}(z) = \frac{0,091 \cdot z^2 + 0,083 \cdot z + 0,002}{z^3 - 0,963 \cdot z^2 + 0,139 \cdot z - 0,0002}$$

Нули ДПФ:

- $z_{n1} = -0,887$;
- $z_{n2} = -0,025$.

Полюса ДПФ:

- $z_{n1} = 0,786$;
- $z_{n2} = 0,175$;
- $z_{n3} = 0,001$.

Нули НПФ – отсутствуют.

Полюса НПФ:

- $s_{n1} = -0,008$;
- $s_{n2} = -0,058$;
- $s_{n3} = -0,228$.

Тогда НПФ имеет вид

$$W_{\text{ммэ2}}(s) = \frac{K_o}{(125,844 \cdot s + 1) \cdot (17,386 \cdot s + 1)} \cdot \frac{1}{(4,387 \cdot s + 1)}.$$

Как видно из эксперимента 2, шаг в 30 секунд охватил все звенья, входящие в структуру исследуемого объекта.

Погрешность вычисления:

- $\Delta T_{o3} = +1,044$;
- $\Delta T_{o2} = +0,186$;
- $\Delta T_{o1} = +0,243$.

Для расчетов были использованы данные на участке первых 240 с.

При дальнейшем уменьшении шага дискретизации было определено оптимальное его значение $\Delta t_{\text{онм}} = 10$ с, при котором область переходной характеристик на протяжении первых 80 с дала в результате модель

$$W_{\text{ммэо}}(s) = \frac{K_o}{(124,803 \cdot s + 1) \cdot (17,090 \cdot s + 1)} \cdot \frac{1}{(4,661 \cdot s + 1)}.$$

Погрешность вычисления:

- $\Delta T_{o3} = +0,003$;
- $\Delta T_{o2} = +0,010$;
- $\Delta T_{o1} = +0,031$.

Последующее уменьшение шага приведет к значительному увеличению погрешности в определении постоянных времени медленных звеньев, а следом за ними последует искажение структуры объекта в связи с малым приращением выходной координаты на протяжении первых периодов съема данных.

Так, при шаге $\Delta t = 5$ с была определена модель объекта вида

$$W_{\text{ммэ*}}(s) = \frac{K_o}{(97,470 \cdot s + 1) \cdot (18,307 \cdot s + 1)} \cdot \frac{1}{(4,600 \cdot s + 1)}.$$

Погрешность вычисления:

- $\Delta T_{o3} = -27,33$;
- $\Delta T_{o2} = +1,107$;
- $\Delta T_{o1} = -0,03$.

Резкое ухудшение в параметрической идентификации при малом шаге дискретизации влияет в первую очередь на точность определения медленных звеньев.

Адекватность полученных моделей можно оценить по графику их переходных характеристик (рис. 3), а область отсчетов, используемая при оптимальном шаге, выделена на рис.4.

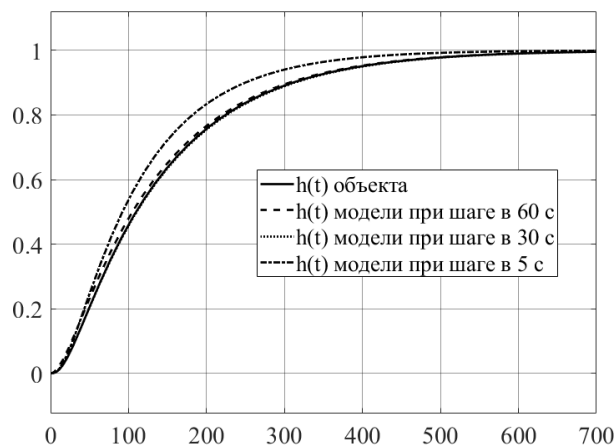


Рис 3. Переходные характеристики исследуемого объекта и вычисленных моделей.

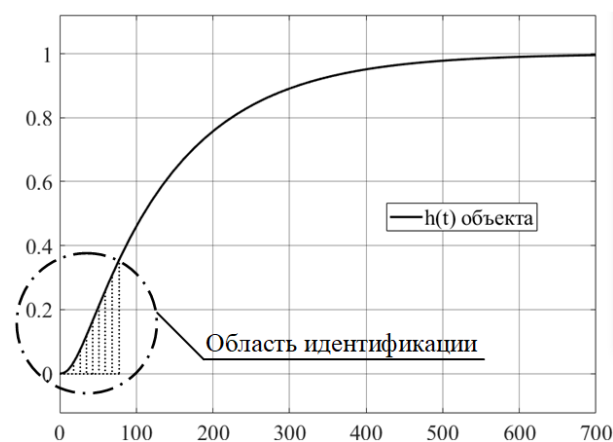


Рис 4. Область отсчетов в процессе идентификации при оптимальном шаге дискретизации $\Delta t_{\text{онм}} = 10$ с.

Как видно из рис.4, метод SP-идентификации охватывает лишь начальный участок переходной характеристики, на котором характерно положительное ускоренное движение выходной координаты.

5. Заключение

Идентификация линейных объектов с применением метода разбиения дробно-рациональной функции в цепную дробь является простым и качественным инструментом

структурно-параметрического моделирования. Данный метод позволяет без особых усилий и вычислительных затрат получить математическую модель в виде непрерывной передаточной функции. Из преимуществ метода следует отметить:

- быстродействие (по сравнению с частотными методами идентификации);
- простота требуемых вычислительных операций;
- возможность идентификации структуры модели, тем самым определяя все важные составляющие уравнения движения исследуемого объекта.

Данная работа демонстрирует его дополнительное преимущество. Так как важным участком в процессе идентификации является

начальный участок эксперимента, его можно прервать после сходимости расчетов идентифицирующей матрицы. Это позволит сэкономить время и количество вычислительных операций.

Основным недостатком рассмотренного метода являются ограничения по выбору шага дискретизации, который явным образом влияет на сходимость и точность решения.

В качестве дальнейших исследований предполагаются исследования в области влияния промышленных возмущений, шумов на сходимость и точность решения, а также исследование наличия универсальности метода при использовании различных идентифицирующих сигналов, и, в случае отсутствия таковой, попытка его модификации.

Список литературы

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: пер. с англ. / Под ред. Я.З Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
2. Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А.П. Копелович, М.: Metallurgizdat, 1960. – 191 с.
3. Симою М.П. Определение коэффициентов передаточной функции линеаризованных звеньев систем регулирования // Автоматика и телемеханика. – 1957. – № 6. – С. 514 – 527.
4. Santos J.B.M. A simple identification technique for second-order plus time-delay system / J.B.M. dos Santos, P.R. Barros // 9th IFAC Symposium on Dynamics and Control of Process Systems. – 2010. – Vol. 43. – № 5. – PP. 188 – 193.
5. Карташов В.Я. Структурно-параметрическая идентификация линейных стохастических объектов с использованием непрерывных дробей / В.Я. Карташов, М.А. Новосельцева // Управление большими системами: сб. науч. тр. – Москва: ИПУ РАН, 2008. – Вып. 21. – С. 27 – 48.
6. Новосельцева М.А. Использование правильных С-дробей для анализа многочастотных сигналов, содержащих скрытые периодичности / М.А. Новосельцева // Управление большими системами: сб. науч. тр. – Москва: ИПУ РАН, 2013. – Вып. 41. – С. 93 – 112.
7. Карташов В.Я. Структурно-параметрическая идентификация динамических объектов в режиме реального времени. / В.Я. Карташов, Л.В. Карташова, С.С. Самойленко // Вестник Кемеровского государственного университета. – Кемерово: изд-во КемГУ, 2015. – № 1 – С. 13 – 18.

References

1. Ljung L. System identification: theory for the user: trans. from english / Ya.Z. Tsympkin ed., Moscow, Nauka Publ., 1991, 432 p.
2. Kopelovich A.P. *Inzhenernye metody rascheta pri vybore avtomaticheskikh reguliatorov* [Engineering calculation methods for choose automatic regulators], Moscow, Metallurg Publ., 1960, 191 p.
3. Simoiu M.P. Definition of the transfer functions coefficients of the linearized links of control systems. *Avtomatika i telemekhanika*, 1957, No 6, pp. 514–527.
4. Santos J.B.M., Barros P.R. A simple identification technique for second-order plus time-delay system, 9th IFAC Symposium on Dynamics and Control of Process Systems, 2010, Vol. 43, № 5, pp. 188–193.
5. Kartashov V.IA, Novoseltseva M.A. Structural and parametric identification of linear stochastic objects using continuous fractions. *Upravlenie bolshimi sistemami* [Control of large systems], Moscow, IPU RAN, 2008, Issue 21, pp. 28–48.
6. Novoseltseva M.A. Use of proper C-fractions for analysis of multi-frequency signals with hidden periodicities. *Upravlenie bolshimi sistemami* [Control of large systems], Moscow, IPU RAN, 2013, Issue 41, pp. 93–112.
7. Kartashov V.IA, Kartashova L. V., Samoilenko S.S. Structural and parametric identification of dynamic objects in real time. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Messenger of Kemerovo State University], Kemerovo, KemGU publ., 2015, No 1, pp. 13–18.

РАЗДЕЛ 7. ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ

УДК 664.953.64

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВЛАГОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ФАРША ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ПРОДУКТА

В.А. Бабаева¹ студентка, Н.И. Покинтелица² д-р. техн. наук

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: vladka567598@gmail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: nik.pokintalitsa@mail.ru

Аннотация

В статье приведены результаты влияния количества измельчений на дисперсный состав фарша, их удельную площадь поверхности, предельное напряжение сдвига, влагоудерживающую способность и выход готовой жареной кулинарной продукции. Установлено, что во время однократного измельчения при использовании ножевых решеток с диаметром отверстий 9...1 мм удельная площадь поверхности частиц продукта увеличивается в 2,75...23,5, а при дальнейшем увеличении количества измельчений темп роста площади замедляется до 0,2...0,05 раз при шестикратном измельчении для решеток с соответствующим диаметром отверстий. В результате проведения исследований было установлено влияние площади поверхности фарша на его влагоудерживающую способность, предельное напряжение сдвига и выход готовой продукции. Доказано, что при увеличении удельной площади поверхности фарша до 3 м²/кг влагоудерживающая способность, предельное напряжение сдвига и выход готовой продукции уменьшаются, а при дальнейшем изменении площади поверхности до 9,5 м²/кг все перечисленные показатели увеличиваются: влагоудерживающую способность на 21%; предельное напряжение сдвига на 17%; выход на 13%.

Ключевые слова: влагоудерживающая способность, предельное напряжение сдвига, дисперсный состав фарша, готовая продукция.

THE STUDY OF INDICATORS OF WATER-HOLDING ABILITY MINCED MEAT WHEN GRINDING PRODUCT

V.A. Babaeva¹ student, N.I. Pokintelitca² d-r. sc. tech

1FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: vladka567598@gmail.ru

2 FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: nik.pokintalitsa@mail.ru

Abstract

The article presents the results of the effect of the number of grindings on the dispersed composition of minced meat, their specific surface area, ultimate shear stress, water-holding capacity and yield of finished fried culinary products. It was found that during a single grinding using knife grids with a hole diameter of 9 ... 1 mm, the specific surface area of the product particles increases in 2.75 ... 23.5, and with a further increase in the number of grindings, the area growth rate slows down to 0, 2 ... 0.05 times with six-time grinding for gratings with the corresponding hole diameter. As a result of research, the effect of the forcemeat surface area on its water-holding capacity, ultimate shear stress and yield of finished products was established. It has been proven that with increasing specific surface area of minced meat to 3 m² / kg, the water-holding capacity, ultimate shear stress and yield of finished products decrease, and with a further change in surface area to 9.5 m² / kg, all the listed parameters increase: water-holding capacity by 21%; ultimate shear stress of 17%; yield 13%.

Keywords: water holding capacity, ultimate shear stress, dispersed composition of minced meat, finished products.

1. Введение

На предприятиях питания перерабатывается значительный ассортимент пищевого сырья [1-3]. Отличительной чертой предприятий общественного питания является наличие в них значительного разнообразия продуктов при небольших объемах их переработки. Отмеченная особенность не позволяет распространить в них технологический опыт переработки сельскохозяйственного сырья, что имеется на предприятиях пищевых отраслей промышленности. Промышленные технологии по переработке различных видов сырья отличаются более эффективным использованием всех ее компонентов, меньшей удельной энергоемкостью и трудоемкостью процессов переработки. Существующая ситуация обусловлена большими технико-экономическими возможностями производств, имеющих значительные объемы переработки однотипного сырья. Предприятия питания, как отмечалось выше, имеют незначительные объемы переработки различных типов пищевого сырья, что не позволяет использовать в них технологии промышленной переработки продуктов.

2. Основная часть

На качество мясных продуктов существенно влияет влагоудерживающая способность. Для одних продуктов (например, вареных колбас) необходимо повышать эту способность, для других (например, сырокопченых колбас) ее надо резко снижать. Поэтому регулирование влагоудерживающей способности продуктов является важным фактором при изготовлении различных мясных продуктов. Влагоудерживающая способность мяса зависит от степени его измельчения. Поэтому была проведена серия экспериментов по выявлению зависимостей свободной и связанной влаги от диаметра отверстий ножевых решеток, количества измельчений и удельной площади поверхности частиц фарша при измельчении говядины, результаты которых представлены на (рис. 1 – 3).

Анализируя результаты экспериментов, представленные на рисунке 1 можно отметить, что, изменяя диаметр отверстий в интервале 1 ... 9 мм можно почти вдвое изменить количество связанной влаги. При меньшей степени измельчения, которое сопровождается значительной степенью разрушений мышечных волокон, мышечная ткань обладает высокой влагоудерживающей способностью.

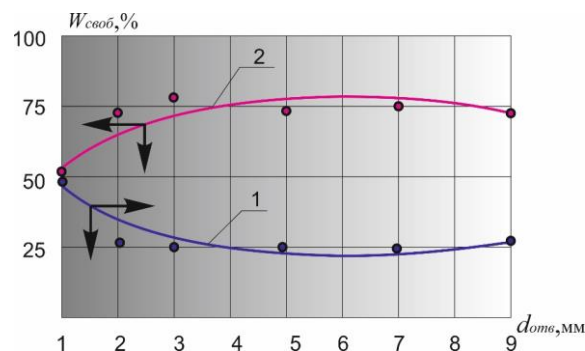


Рис. 1. Зависимость свободной ($W_{своб}$) и связанной влаги ($W_{связ}$) фарша из говядины от диаметра отверстий ножевых решеток ($d_{отв}$):

1 — связанная влага ($W_{связ} = 0,756d_{отв}^2 - 9,0179d_{отв} + 50,238$); 2 — свободная влага ($W_{своб} = 0,7628d_{отв}^2 + 9,041d_{отв} + 50,238$)

Невысокая степень измельчения незначительно изменяет величины свободной и связанной влаги. Так в интервале использования ножевых решеток с диаметром отверстий от 9 до 3 мм количество свободной и связанной влаги меняется на 1 ... 3%, а в интервале 3 ... 1 мм количество свободной и связанной влаги увеличивается на 20 ... 22%.

Рассматривая влияние количества измельчений на влагоудерживающую способность фарша (рис. 2), можно отметить, что количество измельчений менее существенно влияет на содержание свободной и связанной влаги чем изменение диаметра отверстий ножевых решеток.

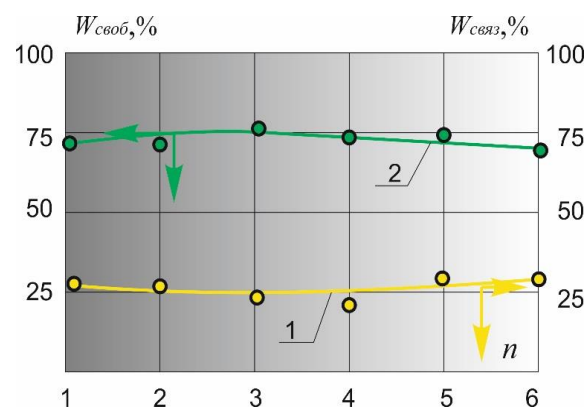


Рис. 2. Зависимость свободной ($W_{своб}$) и связанной ($W_{связ}$) влаги фарша из говядины от количества измельчений (n), (диаметр отверстий ножевой решетки $d_{отв} = 3$ мм): 1 — связанная влага ($W_{связ} = 0,2321n^2 - 0,7821n + 25,3$); 2 — свободная влага ($W_{своб} = -0,07149n^2 - 0,3857n + 74,4$)

Это объясняется тем, что при многократном измельчении площадь поверхности частиц получаемых фаршей меняется менее интенсивно (по

сравнению с изменением диаметра отверстий ножевых решеток), поскольку их влагоудерживающая способность зависит от площади поверхности частиц. Так при изменении площади поверхности частиц говяжьего фарша от 1 до 5 м² / кг (рисунок 3) количество свободной и связанной влаги практически не меняется, а при изменении от 5 до 9 м² / кг количество связанной влаги увеличивается почти вдвое.

Для более полной оценки технологических свойств получаемых фаршевых полуфабрикатов необходимо было определить их структурно-механические свойства. Качество фарша и кулинарных изделий лучше всего характеризует величина предельного напряжения сдвига. По сравнению с пластической и эффективной вязкостью предельное напряжение сдвига всего чувствительна к изменению технологических и механических факторов. Этот показатель очень успешно можно использовать для технологической оценки фарша в процессе его изготовления.

Для этого был проведен ряд исследований по определению влияния диаметра отверстий ножевых решеток на величину предельного напряжения сдвига, результаты которых представлены на (рис. 4).

Анализ полученной зависимости свидетельствует о том, что размер частиц мясных фаршей влияет на величину их связи в общей массе и предельное напряжение сдвига. Доли фарша размещены в дисперсной среде водно-белкового раствора (мясного сока) в виде тонких слоев.

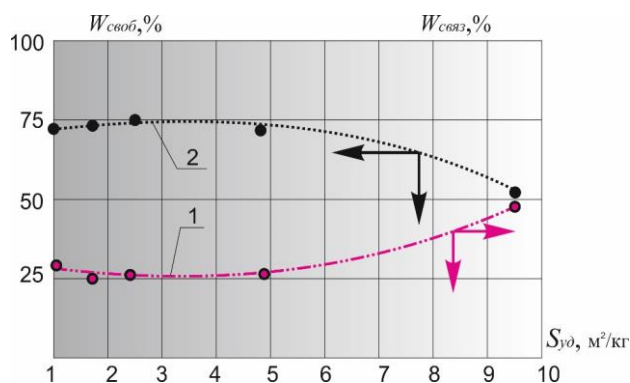


Рис. 3. Зависимость свободной ($W_{своб}$) и связанной ($W_{связ}$) влаги фарша из говядины от удельной площади поверхности его частиц ($S_{уд}$): 1 — связанная влага ($W_{связ}=0,5509S_{уд}^2-3,292S_{уд}+29,905$); 2 — свободная влага ($W_{своб}=-0,5509S_{уд}^2-3,292S_{уд}+70,095$)

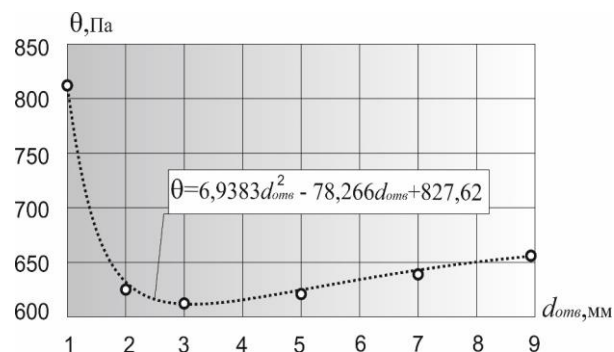


Рис. 4. Зависимость предельного напряжения сдвига (Θ) фарша говядины от диаметра отверстий ножевых решеток ($d_{отв}$)

При увеличении дисперсности фарша происходит уменьшение размеров частиц с пропорциональным ростом общей площади их поверхности и количества адсорбционно-связанной воды. При этом процесс увеличения количества выделенной влаги идет интенсивнее процесса увеличения поверхности частиц. Это приводит к снижению предельного напряжения сдвига на 5 ... 7% от 660 Па (фарш, полученный с использованием ножевых решеток с отверстиями 9 мм) до 610 Па (при использовании решеток с отверстиями 3 мм). Затем происходит резкое изменение соотношения количества влаги, выделившейся и площади поверхности частиц, при этом размер частиц отдельных фракций попадает в область коллоидных. Это приводит к значительному росту предельного напряжения сдвига фарша на 28 ... 30% до 820 Па (при измельчении мяса на решетке с отверстиями 1 мм). Полученные закономерности коррелируют с данными исследований колбасных фаршей, где также оказывается подобная динамика консистенции фаршевых мясных систем [4].

Результаты экспериментов по выявлению зависимости предельного напряжения сдвига от количества измельчений (рис. 5) показывают, что наиболее существенно количество измельчений влияет на значение предельного напряжения сдвига при измельчении с использованием ножевых решетках с диаметром отверстий 3 мм.

Так в случае шестикратного измельчения при использовании ножевых решеток с диаметром отверстий 9 мм предельное напряжение сдвига уменьшается на 5%, при использовании ножевых решеток с диаметром 5 мм предельное напряжение сдвига практически не меняется, а при измельчении по использованию решеток, имеющих отверстия диаметром 3 мм предельное напряжение сдвига увеличивается на 10%. Все вышеотмеченное объясняется зависимостью пре-

дельного напряжения сдвига от удельной площади поверхности частиц фарша (рис. 6).

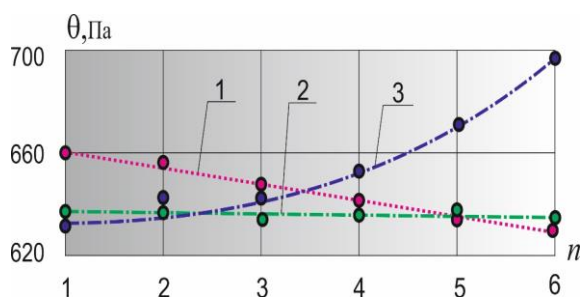


Рис. 5. Зависимость предельного напряжения сдвига (Θ) говядины от количества измельчений (n) и диаметра отверстий ножевых решеток ($d_{омв}$): 1 – $d_{омв}=9$ мм ($\Theta=0,7143n^2-11,143n+672$); 2 – $d_{омв}=5$ мм ($\Theta=0,6071n^2-5,65n+646,4$); 3 – $d_{омв}=3$ мм ($\Theta=2,6786n^2-3,8929n+623$)

Анализируя результаты исследований, представленные на рисунке 6, можно отметить, что при изменении удельной площади поверхности частиц фарша на 90% (от 1 м²/кг до 9 м²/кг) предельное напряжение сдвига меняется на 25% (от 600 Па до 800 Па). При увеличении площади от 1 м²/кг до 3 м²/кг предельное напряжение уменьшается от 650 Па до 600 Па, а при дальнейшем увеличении площади до 9 м²/кг предельное напряжение сдвига возрастает до 800 Па [5].

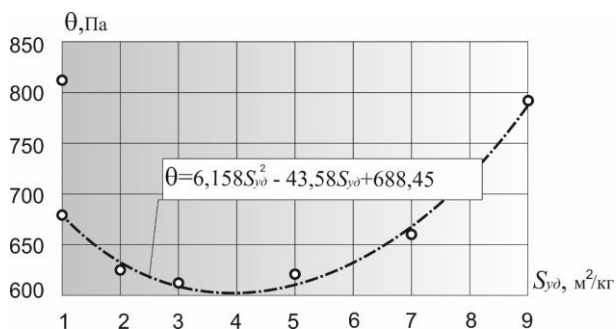


Рис. 6. Зависимость предельного напряжения сдвига (Θ) фарша говядины от удельной площади поверхности его частиц ($S_{уд}$)

Анализируя все вышесказанное, нужно отметить, что, изменяя площадь поверхности частиц фарша любым способом (изменением диаметра отверстий ножевых решеток, количеством измельчений), можно в зависимости от технологических требований получить оптимальное значение предельного напряжения сдвига.

Влагоудерживающая способность фарша и предельное напряжение сдвига непосредственно связаны с выходом готовых кулинарных изде-

лий. Был проведен ряд исследований, которые были направлены на определение зависимостей выхода готовой продукции от диаметра отверстий ножевых решеток, количества измельчений и удельной площади поверхности частиц фарша (рис. 7 – 9).

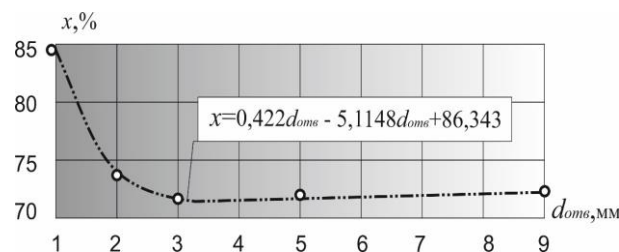


Рис. 7. Зависимость выхода (x) жареных изделий из фарша говядины от диаметра отверстий ножевых решеток ($d_{омв}$)

Анализируя данные представленные на рисунке 3.20 можно отметить, что значение выхода жареных кулинарных изделий практически не меняется в интервале диаметров отверстий ножевых решеток 9...3 мм (уменьшается на 1...3%), что коррелирует с незначительным изменением влагоудерживающей способности и предельного напряжения сдвига в данном диапазоне отверстий ножевых решеток. При этом в диапазоне диаметров отверстий ножевых решеток 3...1 мм наблюдается рост выхода жареных рубленых изделий на 11...14% с 72%, при диаметре отверстий решеток 3 мм до 85%, при диаметре решеток 1 мм, что также подтверждается резким изменением предельного напряжения сдвига и влагоудерживающей способности на данном интервале.

При изменении количества измельчений выход готовых кулинарных изделий также меняется (рис. 8), но менее интенсивно чем при изменении диаметра отверстий ножевых решеток. Так количество измельчений (диаметр отверстий 3, 5 и 9 мм) наиболее существенно влияет на выход готовой кулинарной продукции в случае применения ножевых решеток с диаметром отверстий 3 мм. Для решеток 5 и 9 мм количество измельчений практически не оказывает существенного влияния на выход, что обусловлено незначительным изменением в данном случае его влагоудерживающей способности, предельного напряжения сдвига и площади поверхности частиц фарша.

Рассматривая зависимость выхода жареных кулинарных изделий из фарша говядины от площади поверхности его частиц (рисунок 9), можно сделать выводы о том, что в диапазоне S

от 1 до 3,5 м²/кг выход практически не меняется, это коррелируется с зависимостью влагоудерживающей способности и предельного напряжения сдвига от площади поверхности частиц фарша. При увеличении площади поверхности частиц от 3,5 м²/кг до 9 м²/кг выход готовой продукции увеличивается с 73% до 85%, что также коррелируется с данными по предельному напряжению смещения и способностью удерживать влагу.

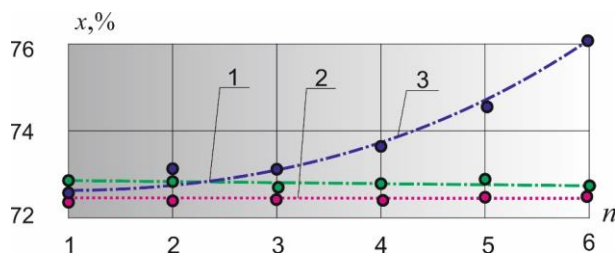


Рис. 8. Зависимость выхода (x) жареных изделий из фарша говядины от количества измельчений (n) и диаметра отверстий ножевых решеток ($d_{омв}$):

1 – $d_{омв} = 9$ мм ($x = 0,0518n^2 + 0,3539n + 72,73$);

2 – $d_{омв} = 5$ мм ($x = -0,0714n + 72,7$);

3 – $d_{омв} = 3$ мм ($x = 0,0661n^2 + 0,2032n + 72,77$)

Список литературы

1. Драгилев А.И., Дроздов В.С. Технологическое оборудование предприятий перерабатывающих отраслей АПК. – М.: Колос, 2001. – 352 с.
2. Патиева С. В., Патиева А. М., Лисовицкая Е. П. Технологические аспекты производства специализированных продуктов питания на основе животноводческого сырья: монография. Краснодар: КубГАУ, 2017. 185 с.
3. Гаврилов Т.А. Исследование процесса измельчения мягких субпродуктов и разработка конструкции измельчителя для звероводства: дис...канд. техн. наук. – Петрозаводск, 2014. - 147 с.
4. Гаврилов, Т.А. Разработка ресурсо- и энергосберегающего аппаратного комплекса для измельчения мясорыбного сырья // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: сборник статей научно-практической конференции. – Петрозаводск: Изд-во Петропресс, 2015. – Ч. 1. – С. 52-55.
5. Комиссаров, С.С. Исследование процесса измельчения мясного сырья в волчках и разработка ножевых головок: дис... канд. техн. наук. – Воронеж, 2003. – 159 с.

References

1. Dragilev AI, Drozdov V.S. Technological equipment of enterprises of processing industries of agroindustrial complex. – Moscow: Kolos, 2001. – 352 p.
2. Patieva S. V., Patieva A. M., Lisovitskaya E. P. Tehnologicheskie aspekty proizvodstva spetsializirovannyh produktov pitaniya na osnove zhiivotnovodcheskogo syr'ya [Technological aspects of producing specialized foodstuff based on livestock raw material]: monografiya. Krasnodar: KubGAU, 2017. 185 p.
3. Gavrilo TA Investigation of the grinding process of soft offal and the development of the design of a shredder for farming; dis ... Cand. tech. sciences. – Petrozavodsk, 2014. – 147 p.
4. Gavrilo, T.A. Development of resource and energy-saving hardware complex for grinding meat and fish raw materials // Low-rise wooden housing: economics, architecture and resource-saving technologies: a collection of articles of the scientific-practical conference. – Petrozavodsk: Petropress Publishing House, 2015. - Part 1. - P. 52-55.
5. Komissarov, S.S. Investigation of the process of grinding meat raw materials in the tops and the development of knife heads: dis ... Cand. tech. sciences. - Voronezh, 2003. – 159 p.

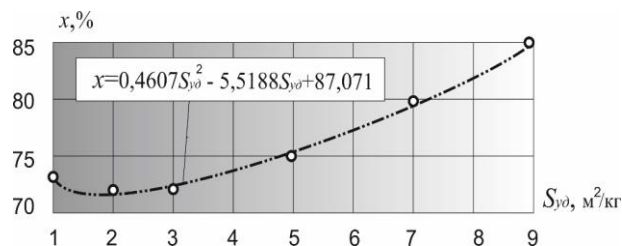


Рис. 9. Зависимость выхода жареных изделий из фарша говядины от количества измельчений и диаметра отверстий ножевых решеток

6. Заключение

Изучив влияние конструктивных и эксплуатационных параметров процесса измельчения на показатели качества полуфабрикатов и готовых кулинарных изделий можно с достаточной степенью точности смоделировать процесс измельчения различных видов пищевых продуктов с получением продуктов с заданными показателями качества.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПОЛУЧАЕМЫХ ФАРШЕЙ

Д.В.Литовченко¹ студент, Е.А. Левченко² канд. техн. наук

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: litovchenkod@mail.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: ealev1978@mail.ru

Аннотация

Определена структура энергетических составляющих процесса измельчения различных продуктов, которая позволяет определить приоритетные направления совершенствования рабочих органов мясорубок. Установлено, что наиболее энергоемкими являются процессы резки продукта непосредственно в плоскости контакта нож-решетка и транспортировка, их суммарное удельное содержание для большинства различных видов пищевого сырья составляет от 55 ... 80%. В результате проведенных исследований определены зависимости, характеризующие влияние диаметра отверстий ножевых решеток на дисперсный состав фарша, удельную площадь поверхности частиц фарша, предельное напряжение сдвига, способность фарша удерживать влагу и выход жареной кулинарной продукции. Установлено, что при уменьшении диаметра отверстий ножевых решеток от 9 до 3 мм удельная площадь поверхности частиц фарша увеличивается на 61%, а при уменьшении от 3 до 1 мм – увеличивается на 72%. Установлено, что при изменении диаметров отверстий от 9 до 3 мм не происходит существенного изменения значений предельного напряжения сдвига, а при уменьшении диаметра отверстий от 3 до 1 мм предельное напряжение сдвига увеличивается на 28%. Установлено, что при использовании ножевых решеток с диаметрами 9 ... 3 мм не происходит существенного изменения количества связанной влаги, а при уменьшении диаметра отверстий от 3 до 1 мм количество связанной влаги увеличивается на 20%.

Ключевые слова: пищевое сырье, ножевые решетки, дисперсный состав, предельное напряжение сдвига, эксплуатационные характеристики.

STUDY OF THE IMPACT OF THE OPERATIONAL CHARACTERISTICS OF THE GRINDING PROCESS ON THE QUALITY INDICATORS OF MINCED MEAT

D.V. Litovchenko¹ student, E.A. Levchenko² cand. sc. tech.

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: litovchenkod@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: ealev1978@mail.ru

Abstract

The structure of the energy components of the grinding process of various products is determined, which allows you to identify priority areas for improving the working bodies of meat grinders. It has been established that the most energy-intensive processes are cutting the product directly in the plane of contact of the knife-grate and transportation, their total specific content for most different types of food raw materials is from 55 ... 80%. As a result of the studies, dependencies were determined that characterize the effect of the diameter of the openings of the knife gratings on the dispersed composition of the stuffing, the specific surface area of the stuffing particles, the ultimate shear stress, the ability of the stuffing to retain moisture and the output of fried culinary products. It was found that with a decrease in the diameter of the openings of the knife gratings from 9 to 3 mm, the specific surface area of the particles of minced meat increases by 61%, and with a decrease from 3 to 1 mm, it increases by 72%. It was found that when changing the diameter of the holes from 9 to 3 mm, there is no significant change in the values of the ultimate shear stress, and when the diameter of the holes is reduced from 3 to 1 mm, the maximum shear stress increases by 28%. It was found that when using knife grids with diameters of 9 ... 3 mm, there is no significant change in the amount of bound moisture, and when the hole diameter is reduced from 3 to 1 mm, the amount of bound moisture increases by 20%.

Keywords: food raw materials, knife grids, dispersed composition, ultimate shear stress, operational characteristics.

от зоны загрузки к зоне резки, вдавливания его в отверстия ножевых решеток и преодоление сил трения на поверхности контакта продукта с конструктивными элементами измельчителя. При этом следует отметить, что значение этой составляющей будет равно общей мощности используемой на осуществление процесса измельчения вареных овощей и фарша. Вышеотмеченное обусловлено спецификой структурно-механических свойств данных видов сырья, а именно сравнительно низкими характеристиками прочности фарша и вареных овощей.

Особенностью результатов, представленных на (рис. 2) является постоянство значения составляющей мощности, которая используется на работу привода N_{np} и мощности N_{mp} , которая используется на преодоление сил трения в плоскости контакта ножей и решеток. Постоянное значение мощности используемой на работу привода N_{np} обусловлено использованием одного и того же привода при проведении экспериментов. Следует отметить, что при измельчении более низкопрочных видов сырья возможно использование менее мощных двигателей, уменьшающих составляющую мощности, используемой на работу привода N_{np} . Данная составляющая мощности при использовании данного привода достигает 50% всей потребляемой мощности на осуществление процесса измельчения таких видов сырья, как вареные овощи (рис. 2, д) и фарша (рис. 2, е). Поэтому, необходимо данную составляющую учитывать в методике расчета мощности электродвигателей при проектировании новых видов мясорубок.

Результаты исследований, направленных на уточнение структуры составляющих общей мощности используемой на проведение процесса измельчения различных продуктов представлены на (рис. 2).

Анализируя результаты исследований можно отметить, что структура составляющих мощности процессов измельчения различных продуктов на мясорубках существенно отличается. Различия обусловлены тем, что структура составляющих мощности, используемой на осуществление процесса зависит от производительности оборудования.

Кроме того, данные исследования [10, 11] проводились в основном с использованием стандартного котлетного мяса. Отмеченное выше не позволяет получить данные по структуре составляющих мощности процессов измельчения других видов пищевых продуктов, которые отличаются своими структурно-механическими свойствами.

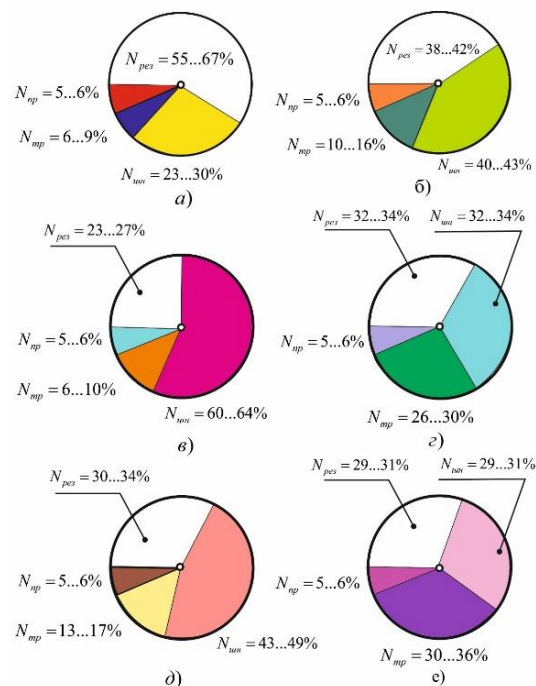


Рис.2. Структура составляющих мощности процесса измельчения на мясорубках различных продуктов: а) – мясной обрез; б) – мясо котлетное; в) – мясо вареное; г) – овощи вареные; д) – овощи сырые; е) – измельчение фарша

Определяющими составляющими общей потребляемой мощности процессов измельчения пищевых продуктов на мясорубках есть мощности, затрачиваемые шнеком на перемещение продукта, продавливание его через ножевые решетки и преодоление сил трения продукта о поверхность рабочей камеры, шнека, ножей и решеток ($N_{шн}$) и на резку непосредственно в плоскости режущей рабочей пары, нож-решетка ($N_{рез}$).

В большинстве случаев они составляют 80 ...55% от общей мощности используемой на проведение процесса измельчения, за исключением группы продуктов, имеющих низкие прочностные характеристики, например, вареных овощей. Составляющая общей мощности используется на преодоление сил трения ножей и решеток в плоскости контакта опорных граней ножей и рабочих поверхностей решеток N_{mp} и составляющая мощности, которая используется на работу привода N_{np} составляют от 13% при измельчении мясного обреза и вареного мяса – 40% при измельчении различных видов фарша мясного и растительного происхождения. Следует отметить, что в результатах экспериментов, изображенных на (рис. 2), отражено не реальное значение соотношения мощности N_{np} при проведении процесса измельчения с использованием любого

конкретного привода, а значение необходимое для осуществления процесса измельчения заданного вида продуктов с применением стандартных асинхронных двигателей.

При измельчении мясного обреза, который содержит большое количество грубой соединительной ткани, представленной в виде разветвленной структуры пучков коллагеновых и эластиновых волокон, удельный расход мощности резания $N_{рез}$ составляет от 55 до 67% общей мощности процесса, в зависимости от содержания в ней с соединительная ткани. При этом мощность, потребляемая на транспортировку продукта шнеком $N_{шн}$ составляет лишь 23 ... 30% от общей мощности или около 50% от мощности резания. Мощность, используемая на преодоление сил трения в плоскости контакта опорных граней ножа и ножевых решеток $N_{тр}$ и мощность, используемая на работу привода $N_{пр}$ в данном случае составляют 10 ... 15% от общей мощности (рис. 2, а).

В случае измельчения котлетного мяса составляющая мощности, используемой на его резку в рабочей плоскости нож-решетка $N_{рез}$ и мощность, потребляемая шнеком $N_{шн}$ примерно равны и в сумме составляют 78 ... 85%, в то время как $N_{тр} + N_{пр}$ составляют лишь 15 ... 22 % от общей мощности (рис. 2, б).

При измельчении вареного мяса максимальной будет мощность, потребляемая шнеком $N_{шн}$, она в среднем составляет около 62% от общей мощности, в то время как мощности резания $N_{рез}$ и сумма мощностей трения и работы привода ($N_{тр} + N_{пр}$) соответственно в среднем будут составлять 25% и 13% (рис. 2, в). Резкое увеличение составляющей мощности $N_{шн}$ обусловлено, существенным изменением структурно-механических свойств продукта, так как при варке происходит уменьшение содержания влаги в мясе, уплотнение его структуры и потеря пластичности. Уменьшение содержания влаги в мясе приводит к увеличению сил трения, возникающих на поверхностях контакта продукта с рабочей камерой, шнеком и режущими рабочими органами (ножами, решетками).

При измельчении овощей (тыквы, свеклы, картофеля и моркови) мощности резки в среднем будут составлять 33% и 32% от общей мощности соответственно для вареных и сырых. Измельчение овощей отличается некоторым увеличением составляющей мощности, используемой на преодоление сил трения, возникающих в плоскости контакта опорных граней ножей и рабочих поверхностей ножевых решеток. Кроме того, в случае измельчения сырых овощей наблюдается

преобладание составляющей мощности $N_{шн}$ над $N_{рез}$ в среднем на 11%, при том, что в случае измельчения сырого котлетного мяса говядины эти составляющие примерно равны. Это обусловлено спецификой структурно-механических свойств, обеспечивающих повышенные затраты мощности при деформации продукта в уменьшаемом межвитковом пространстве шнека и при вдавливании продукта в отверстия ножевых решеток (рис. 2, г, д).

При повторном измельчении продуктов (измельчении фарша), как растительного так и животного происхождения, структура составляющих мощности примерно одинакова она представлена на (рис. 2, е). При измельчении фарша наблюдается резкое увеличение составляющей мощности, которая используется на преодоление сил трения ножей и решеток в плоскости их контакта $N_{тр}$, что составляет в среднем 33% от общей мощности. Мощность, используемая на резку продукта в плоскости резки $N_{рез}$ и мощность, используемая шнеком $N_{шн}$ уровне, каждая из них в среднем составляет около 30%.

Таким образом, полученные данные по структуре составляющих потребляемой мощности позволяют определить приоритеты в направлениях совершенствования конструктивных и эксплуатационных параметров процесса измельчения с целью снижения его энергоемкости при измельчении различных пищевых продуктов. Приоритетным направлением совершенствования является модернизация рабочих органов с целью снижения абсолютных значений составляющих мощности используемых на резку продукта $N_{рез}$ и затрачиваемой шнеком на продвижение продукта, продавливание его через ножевые решетки и преодоление сил трения продукта о поверхность рабочей камеры, шнека, ножей и решеток ($N_{шн}$), так как при измельчении различных продуктов сумма данных составляющих мощности составляет до 80% общей мощности используемой на проведение процесса измельчения. Различие соотношения составляющих потребляемой мощности указывает на целесообразность модернизации рабочих органов режущей пары (нож-решетка) для продуктов, имеющих значительную составляющую мощности резания для уменьшения общей энергоемкости процесса измельчения. В этом плане, представляется целесообразным проведение исследований по определению значения работы резки для различных групп продуктов и различного конструктивного исполнения рабочих органов измельчителей.

Для выбора рациональных углов заточки краев отверстий ножевых решеток и режущих краев лезвий ножей, был проведен комплекс исследований по выявлению зависимостей между конструктивными и энергетическими показателями. Результаты исследований по выявлению зависимости удельной работы резания различных пищевых продуктов от углов заточки краев отверстий ножевых решеток и лезвий ножей представлены на (рис.3).

Анализируя данные результатов исследований, можно отметить, что для различных пищевых продуктов данные зависимости существенно отличаются. Это обусловлено различными структурно-механическими характеристиками исследуемых продуктов.

Так при измельчении вареных овощей угол заточки α практически не влияет на удельную работу резания, что обусловлено низкими прочностными характеристиками данного вида сырья. При измельчении сырых овощей наблюдается рост работы резки уже практически вдвое при изменении угла заточки от 15° до 150° .

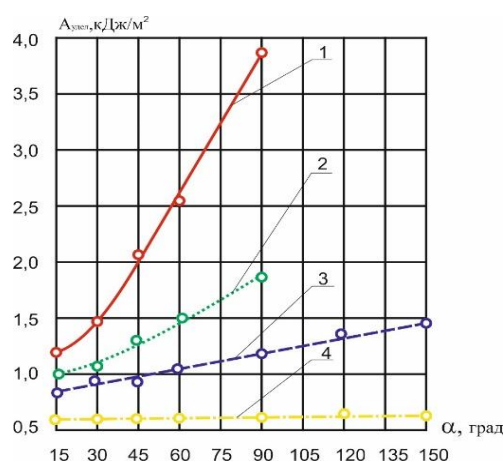


Рис. 3. Зависимость удельной работы резания ($A_{удел}$) от угла заточки краев отверстий решетки и угла заточки лезвий ножа (α): 1 – мясной обрез (говядина) ($A_{удел} = 0,041\alpha - 0,269\alpha + 0,85$); 2 – мясо (говядина) ($A_{удел} = -0,0019\alpha - 0,0194\alpha + 0,1142\alpha + 0,8667$); 3 – овощи сырые ($A_{удел} = -0,0143\alpha + 0,2357\alpha + 0,68$); 4 – овощи вареные ($A_{удел} = 0,0014\alpha - 0,0006\alpha + 0,648$)

Подобный относительный прирост (в 1,7 ... 2,3 раза) наблюдается и при измельчении котлетного мяса, но уже в более узком диапазоне углов заточки от 15° до 90° . При этом следует отметить, что при одинаковом относительном росте удельной работы резания абсолютные их значения при измельчении мяса на 30 ... 45% больше чем при измельчении овощей. Особенно существенное влияние угла заточки краев отвер-

стий ножевых решеток и режущих краев лезвий ножей при измельчении мясного обреза, что обусловлено, как отмечалось выше, значительными показателями прочности данного вида сырья. При изменении угла заточки краев отверстий решеток и лезвий ножей от 15° до 90° значение удельной работы резания увеличивается в 3...3,5 раза. При этом следует учитывать, что абсолютное значение удельной работы резания при измельчении данного вида сырья в 2...6 раз больше чем при измельчении других исследуемых видов сырья.

Анализируя результаты исследований, можно рекомендовать применение режущих рабочих органов с острыми углами заточек режущих краев, для осуществления процесса измельчения продуктов с высокими показателями прочности, так как в этом случае наблюдается эффект значительного уменьшения работы резки. Так, например, во время измельчения различных видов говядины при уменьшении угла заточки режущих краев лезвий от 90° до 15° удельная работа резания уменьшается в 1,7...3,5 раза.

Для выбора рационального подъема винтовой линии шнека при измельчении фарша был проведен ряд опытов с использованием экспериментальной установки описанной в разделе 2.2. Результаты данных исследований представлены на (рис. 4 – 6). На (рис. 4) представлена зависимость производительности мясорубки ММП-II-1 от угла подъема винтовой линии шнека при измельчении мясного и овощного фарша. При изменении угла подъема винтовой линии β от 5° до 20° наблюдается изменение производительности на 10% и 12% соответственно для мясных и овощных фаршей. Увеличение производительности на участке увеличение β от 5° до 12° происходит за счет увеличения способности подачи шнека при увеличении угла подъема винтовой линии. Дальнейшее увеличение винтовой линии приводит к проскальзыванию продукта о поверхность вставки-гильзы при заданной шероховатости поверхности вставки-гильзы и шнека.

Анализируя зависимость удельной производительности шнека от угла подъема винтовой линии (рис. 5) при измельчении мясного и овощного фарша, можно отметить, что характер изменения зависимостей одинаков. При изменении угла β от 5° до 20° удельная производительность плавно увеличивается до значения 12 ... 13° затем плавно уменьшается, при этом изменение ее составляет 8 ... 10%. Различие в абсолютных значениях обусловлено различными коэффициентами трения продукта о поверхность шнека.

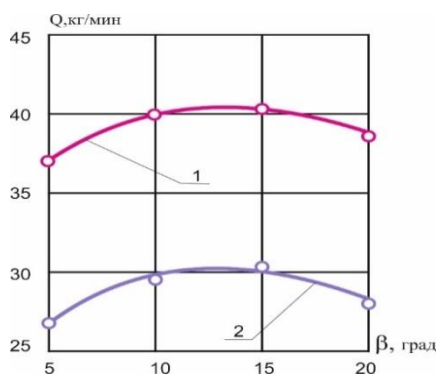


Рис.4. Зависимость производительности (Q) мясорубки ММП-II-1 от угла подъема винтовой линии шнека при измельчении фарша (β):

1 – мясной фарш ($Q = -0,07\beta^2 + 1,89\beta + 28,25$);
2 – овощной фарш ($Q = -0,05\beta^2 + 1,35\beta + 21,25$)

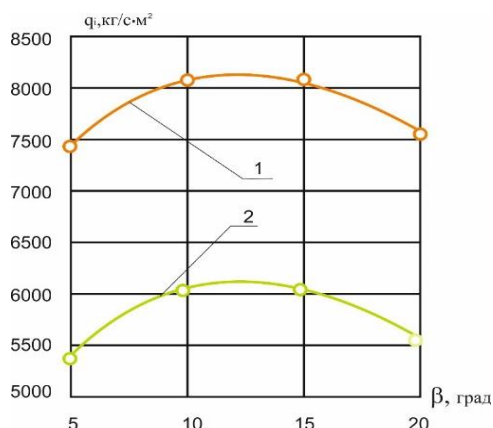


Рис.5. Зависимость удельной производительности шнека (q_i) от угла подъема винтовой линии шнека (β): 1 – фарш мясной; 2 – фарш овощной

Анализируя зависимость работы, которая используется на продвижение единицы массы продукта за весь период его измельчения от угла подъема винтовой линии, представленную на (рис. 6) можно отметить, что характер их изменения для мясных и овощных фаршей также одинаков. При изменении угла подъема винтовой линии β от 5° до 12° наблюдается снижение удельного работы процесса транспортировки, минимальное значение которой находится в интервале $\beta = 12 \dots 13^\circ$, затем происходит плавное увеличение ее значений. Снижение удельного работы транспортировку b на участке изменения угла β от 5° до 12° обусловлено увеличением производительности механизма подачи. Кроме того, снижение удельной работы на транспортировку происходит за счет уменьшения площади контакта с боковыми поверхностями витков шнека, что в свою очередь приводит к снижению мощности используется на преодоление сил трения, возникающие в данной поверхности контакта.

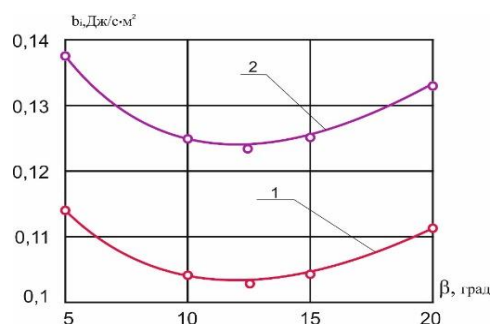


Рис.6. Зависимость работы (b), используемый для движения единицы массы продукта в i -том процессе измельчения от угла подъема винтовой линии (β) при использовании ножевой решетки с диаметром отверстий 5 мм: 1 – фарш мясной ($b = 0,0041\beta^2 - 0,0214\beta + 0,1306$); 2 – фарш овощной ($b = 0,0051\beta^2 - 0,0271\beta + 0,1596$)

Увеличение b на участке увеличения угла подъема винтовой линии более 13° характеризуется преимуществом коэффициента трения продукта о шнек над коэффициентом трения продукта о поверхность вставки-гильзы, при этом наблюдается так называемое проскальзывание продукта по поверхности вставки-гильзы. Вышеописанное явление увеличивает удельную работу процесса транспортировки за счет дополнительной затраты мощности, которая используется на преодоление сил трения продукта о внутреннюю поверхность вставки-гильзы при проскальзывании.

3. Заключение

В результате проведенных исследований определено влияние угла заточки режущих краев лезвий ножей и краев отверстий решеток на удельную работу резания различных пищевых продуктов. Установлено, что при измельчении мясного обреза говядины при уменьшении угла заточки режущих краев лезвий ножей и краев отверстий решеток от 90° до 15° работа резки уменьшается в 3 раза, при измельчении стандартного котлетного мяса при аналогичных условиях уменьшается в 1,8 раза, а при измельчении вареных овощей при изменении угла заточки от 150° до 15° значение удельной работы практически не меняется.

Список литературы

1. Кузьмин, В.В. Совершенствование процесса резания мясного сырья на основе математического моделирования формы режущих инструментов: дис...канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 2008. – 129 с.
2. Handbook of meat processing / edited by F. Toldrà. Blackwell Publishing, 2010. – 561 pp.
3. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 2013. – 519 с.
4. Tong, B.-H., Sun, J., Xu, Z.-H., Chen, Z.-Y., Ji, B., Song, B. Experimental study and comprehensive evaluation on meat grinding // Modern Food Science and Technology. 2013. Vol. 29. № 12. P. 2953-2957.
5. Полуян, В.А. Повышение долговечности ножей мясоизмельчительных машин: дис. канд. техн. наук. – Зерноград, 2006. – 131 с.
6. Гаврилов, Т.А. Повышение эффективности измельчения мясо-рыбного сырья // Пища. Экология. Качество: труды XIII Международной научно-практической конференции. – Красноярск: Изд-во: КрасГАУ, 2016. – С. 257 – 260.
7. Сидоряк, А.Н. Совершенствование процесса измельчения мяса: дис...канд. техн. наук. – Москва, 2007. – 176 с.
8. Исследование устройства для определения консистенции колбасного фарша при куттеровании / А.В. Горбатов, В.Д. Косой, В.М. Шукин, О.Н. Звонов // Мясная индустрия. – 2016. - №10. – С. 31 – 34.
9. Колаковский С. Технология рыбного фарша./ Пер.с польск. В.Е. Тишина; Под ред. Л.И. Борисочкиной.-М.: Агропромиздат, 2001 – 220 с.
10. Курочкин А.А., Ляшенко В.В. Технологическое оборудование для переработки продукции животноводства. – М.: Колос, 2001. – 440 с.
11. Малышев А.Д., Косой В.Д., Бредихина О.В. Перспективность использования пенетрометров для оценки консистенции фарша сырокопченых колбас // Материалы междунар. научно-технической конференции “Пищевой блок и экология”. – М.: МГУПБ. – 2000. – С. 121-122.

References

1. Kuzmin, V.V. Improving the process of cutting raw meat on the basis of mathematical modeling of the shape of cutting tools: dis ... Cand. tech. sciences. - St. Petersburg, 2008. – 129 p.
2. Handbook of meat processing / edited by F. Toldrà. Blackwell Publishing, 2010. – 561 pp.
3. Peleev A.I. Technological equipment of enterprises of the meat industry. – M.: Food industry, 2013. - 519 p.
4. Tong, B.H., Sun, J., Xu, Z.-H., Chen, Z.-Y., Ji, B., Song, B. Experimental study and comprehensive evaluation on meat grinding // Modern Food Science and Technology. 2013. Vol. 29. № 12. P. 2953-2957.
5. Poluyan, V.A. Increasing the durability of knives meat chopping machines: dis. Cand. tech. sciences. - Zernograd, 2006. - 131 p.
6. Gavrilov, T.A. Improving the efficiency of grinding meat and fish raw materials // Food. Ecology. Quality: works of the XIII International Scientific and Practical Conference. – Krasnoyarsk: Publishing house: KrasGAU, 2016. – p. 257 – 260.
7. Sidoryak, A.N. Improving the process of grinding meat: dis ... Cand. tech. sciences. –Moscow, 2007. – 176 p.
8. Study of a device for determining the consistency of sausage meat during chopping / A.V. Gorbатов, V.D. Kosoy, V.M. Schukin, O.N. Zvonov // Meat industry. - 2016. - No. 10. - S. 31 - 34.
9. Kolakovsky S. Technology of minced fish. / Transl. From Polish. V.E. Silence; Ed. L.I. Borisochkina.-M.: Agropromizdat, 2001 - 220 p.
10. Kurochkin A.A., Lyashenko V.V. Technological equipment for processing livestock products. - M.: Kolos, 2001. – 440 p.
11. Malyshev A.D., Kosoy V.D., Bredikhina O.V. Prospects for the use of penetrometers to assess the consistency of minced sausage stuffing // Materials of the international. scientific and technical conference “Food Block and Ecology”. - M.: MGUPB. - 2000. – S. 121-122.

**Современные технологии:
проблемы и перспективы**

Сборник статей
Всероссийской научно-практической конференции
для аспирантов, студентов и молодых ученых
19 - 22 мая 2020 года

Главный редактор: канд. техн. наук, PhD, доц. О.В. Мухина

Изд. № 157/2020. Объем 31 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»