

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 апреля 2021 года



Севастополь, 2021

УДК 62(063)
ББК 30
С568

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*.

С568 **Современные технологии: проблемы и перспективы:** сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных (19 - 22 апреля 2021 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Севастопольский государственный университет, Политехнический институт, кафедра начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики; главный ред. к. т. н., PhD, доц. О.В. Мухина. – Севастополь: Изд-во «СевГУ», 2021. - 199 с.: ил. - Текст : электронный.

Публикуется по решению оргкомитета Всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, проведенной 19 - 22 апреля 2021 г. в ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь (приказ №538-п от 12.04.2021).

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.

ISBN 978-5-6045525-1-3



© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	5
<i>Фарниев А. С., Новиков П. А.</i> Математическая модель точности аддитивной печати профиля внутренней резьбы в зависимости от параметров деления 3D-модели.....	5
<i>Владимирова Н.А.</i> Ортогональная резка легированной стали микро-рифлеными режущими инструментами	10
<i>Владимирова Ю.О., Данилов П.Г., Шалунов Е.П.</i> Использование жаропрочных и износостойких материалов для теплонапряженных деталей узлов трения	14
<i>Зворыгин А.С., Борисов М.А.</i> Влияние электропроводности электролита на шероховатость при электрохимическом шлифовании стали 12Х18Н10Т.....	18
<i>Зорина М.М., Хвостёнков М.Е.</i> Практический опыт форсировки двухтактного двигателя..	22
<i>Иванова Л.А.</i> Использование комплексного модификатора для улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей	28
<i>Кудров Д.С.</i> Количественный анализ сегментации стружки при механической обработке с использованием метода автоматизированной обработки изображений.....	33
<i>Лимонов С.Е., Борисов М.А.</i> Разработка программно-аппаратного комплекса для осуществления автоматической ориентации правящего катода	37
<i>Романов Р.С.</i> Основанная на моделировании конструкция пневматического шпинделя с ультразвуковым приводом для микрообработки.	41
<i>Сазонова М. А., Ткаченко Е. В.</i> Бережливое производство и проблемы его внедрения в России.....	45
<i>Саса Д.А., Тараховский А.Ю.</i> Создание методики повышения производительности процесса создания твердотельной 3-D модели из реального объекта с помощью оптического сканера	49
<i>Смирнов Д.Ю.</i> Влияние структурированного фланга на охлаждающую производительность при бурении	56
<i>Михайлов Д.И.</i> Температурные погрешности при фрезеровании: сравнение перемещений станка, инструмента и заготовки	59
<i>Потянов П.В.</i> Использование аналитического прогнозирования силы резания на основе модели при формировании траектории движения кулачкового инструмента.....	64
<i>Тимошенко А.А., Харченко А.О., Владецкая Е.А.</i> Анализ потоков отказов функционирования и потоков восстановлений резбонарезных модулей.....	67
<i>Григорьев Р.Ю.</i> Моделирование эволюции термоиндуцированной микроструктуры в зоне теплового воздействия.....	72
<i>Неменко А.В., Никитин М.М., Сатвалдыев О.А.</i> Оценка прочности лопастей гребных винтов.....	78
<i>Баскаков Б.Ю., Орленко Д.Р., Никитин М.М., Неменко А.В.</i> Оптимизация износостойкости деталей движения судового двигателя внутреннего сгорания	90
<i>Грунин Н. М.</i> Термомеханически связанное численное моделирование криогенного ортогонального резания	95
<i>Поляков А. С., Васильев С. А.</i> Валидация модели линии скольжения для образования зубчатой стружки при ортогональном точении в сухих условиях и при минимальном количестве смазки.....	99
<i>Лазуткин В. О., Харченко А.О., Харченко А.А.</i> Анализ потоков переналадки модулей для внутренней резьбообработки	104

РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	109
<i>Дьяченко Н.А., Стреляная Ю.О.</i> Эксплуатация северного морского пути как национальной транспортной линии	109
<i>Тараховский М. А., Кричевец Д. С., Остренко А. Г.</i> Сравнительный анализ газобаллонного оборудования автомобиля	113
РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ, ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	119
<i>Ахметшина Ф.Ф., Шенин Д.С., Осадчая Л. И.</i> Основные направления развития сферы обращения с коммунальными отходами г. Севастополя	119
<i>Герасимов А.Р., Лукьяненко И.Н., Сигора Г.А.</i> Анализ опасных и вредных факторов на предприятиях города Севастополя	123
<i>Герасимов А.Р., Хоменко Т.Ю., Сигора Г.А.</i> Проблема ликвидации и утилизации радиоактивных отходов	128
<i>Герасимов А.Р., Сигора Г.А., Ничкова Л.А.</i> Организация службы экологического надзора на предприятиях города Севастополя	132
<i>Лысак А. А., Сигора Г. А.</i> Влияние загруженности улиц города Севастополя автотранспортом на качество окружающей среды	137
<i>Макеева Д. А., Козырь Д. А.</i> Экологическое состояние отдалённых от инфраструктуры районов угледобывающих регионов	142
<i>Подольская М.С., Сигора Г.А.</i> Особенности системы управления охраной труда на предприятии	148
<i>Щербакова М. А., Осадчая Л. И., Ничкова Л. А.</i> Тепловая эффективность и экологическая безопасность градирен сухого типа	153
<i>Иванова Т. В., Сигора Г. А.</i> Особенности урбанизации территорий и создание города «с нуля»	156
<i>Захарова В.С, Ничкова Л.А., Сигора Г.А.</i> Влияние антропогенных и природных факторов на возникновение пожаров в лесах и населенных пунктах	161
<i>Потапчук А. Ю., Сигора Г. А.</i> «Экологический след» техногенной системы города Севастополя	165
<i>Хоменко Т.Ю., Сигора Г.А.</i> Анализ решений проблемы дефицита питьевой воды в городе Севастополе	169
<i>Хоменко Т.Ю., Юрченко А.С., Ничкова Л.А.</i> Производственный травматизм в Крыму	175
РАЗДЕЛ 4. МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	180
<i>Юдина Т. В., Джаманакоева Д. Т., Белая М. Н.</i> Метрологического обеспечения измерений и испытаний электролаборатории	180
РАЗДЕЛ 5. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРИИ	189
<i>Дюдяев И.А., Майорова В.В., Браславский Ю.В.</i> Анализ причин повреждения насосов АЭС с помощью компьютерного моделирования	189
<i>Гараджа А. В., Емченко Е. А.</i> Роль компьютерного моделирования при проектировании морских портовых сооружений на слабых грунтах	195

РАЗДЕЛ 1. ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.7-4

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТОЧНОСТИ АДДИТИВНОЙ ПЕЧАТИ ПРОФИЛЯ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ДЕЛЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ

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

В данной статье описана математическая модель точности аддитивной печати профиля внутренней резьбы в зависимости от параметров деления 3D-модели. В математической модели рассмотрены различные случаи деления в программах-слайсерах 3D-моделей метрических внутренних резьб с номинальным профилем резьбы, построенных в системах автоматизированного проектирования, в зависимости от толщины слоя печати. Был описан дефект ступенчатости при печати профиля внутренней резьбы и выведены формулы для расчета отклонений, вызванных данным дефектом. Математическая модель также описывает отклонения размеров выступов и впадин профиля резьбы, возникающих в случае прилегания по середине выступа или впадины профиля резьбы двух соседних слоев, толщина которых превышает ширину выступа или впадины номинального профиля внутренней резьбы. Рассмотрены условия, при которых возможно формирование внутренних резьб с помощью аддитивных технологий, а также условия, при выполнении которых полученный делением на слои профиль внутренней резьбы, будет наиболее схож с номинальным профилем внутренней резьбы. На основании описанной математической модели предложены наиболее рациональные условия для формирования внутренних резьб с помощью аддитивных технологий

Ключевые слова: внутренние резьбы, профиль метрической резьбы, аддитивные технологии, 3D-печать, точность формирования, математическая модель.

MATHEMATICAL MODEL OF THE ACCURACY OF ADDITIVE PRINTING OF THE INTERNAL THREAD PROFILE DEPENDING ON THE 3D-MODEL DIVISION PARAMETERS

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

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

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

Abstract

This article describes a mathematical model of the accuracy of additive printing of an internal thread profile depending on the 3D-model division parameters. In the mathematical model, various cases of division in slicing programs of 3D-models of metric internal threads with a nominal thread profile, built in computer-aided design systems, are considered, depending on the thickness of the print layer. The defect of stepping when printing the profile of the internal thread was described and formulas were derived for calculating the deviations caused by this defect. The mathematical model also describes the deviations in the size of the protrusions and valleys of the thread profile that occur when two adjacent layers, whose thickness exceeds the width of the protrusion or valley of the nominal profile of the internal thread, fit in the middle of the protrusion or valley of the thread profile. The conditions under which it is possible to form internal threads using additive technologies, as well as the conditions under which the internal thread profile obtained by dividing into layers will be most similar to the nominal internal thread profile, are considered. Based on the described mathematical model, the most rational conditions for the formation of internal threads using additive technologies are proposed

Keywords: internal threads, metric thread profile, additive technologies, 3D printing, forming accuracy, mathematical model

1. Введение

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

На сегодняшний день перспективной тенденцией развития машиностроения является применение аддитивных технологий. 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].

Общественные ожидания от аддитивных технологий представлены на графике Гартнера рис. 1 [2].

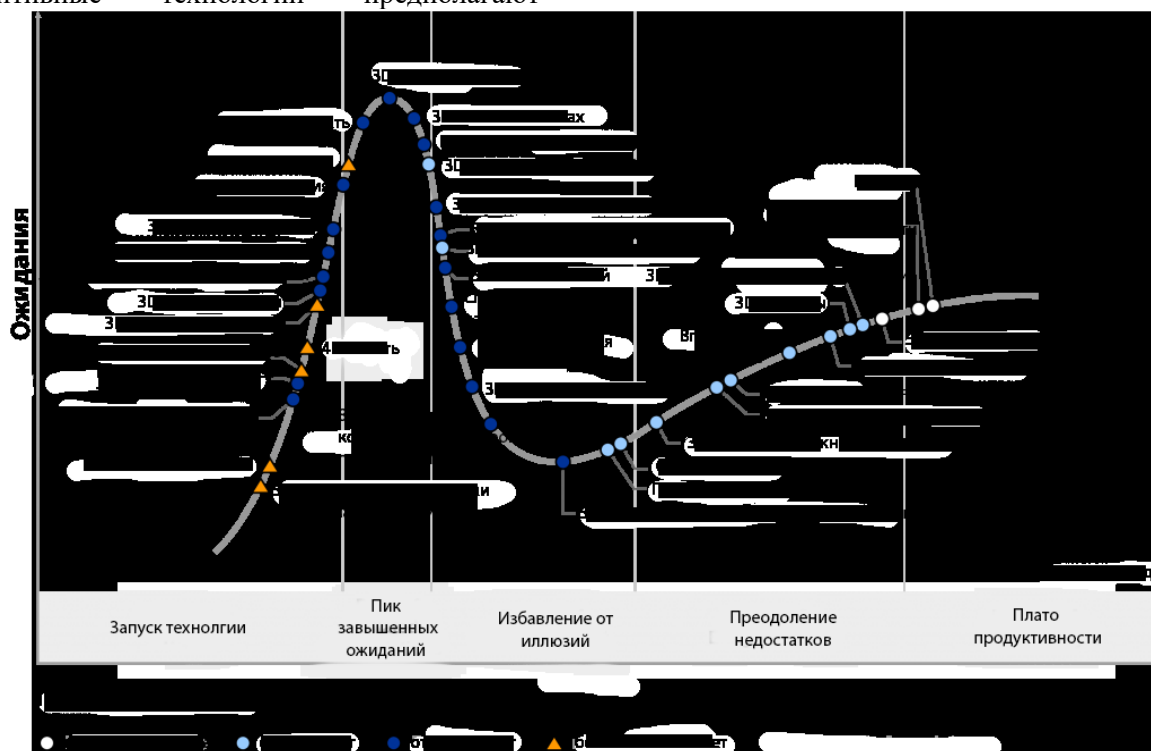


Рис. 1 – График Гартнера: общественные ожидания от аддитивных технологий

Наиболее широко распространёнными аддитивными технологиями на сегодняшний день являются:

- Лазерная стереолитография (SLA) – объект формируется из специального жидкого фотополимера, затвердевающего под действием лазерного излучения;
- Моделирование методом наплавления (FDM) – объект формируется путём послойной укладки расплавленной нити из плавкого рабочего материала (пластик, воск) [3].

Данными технологиями получают детали из пластика, которые точно повторяют конфигурации 3D-моделей, построенных в системах автоматизированного проектирования.

Важной задачей является сборка деталей, изготовленных с применением данных технологий, что возможно осуществить при формировании в них внутренних резьб.

Для определения возможности формирования внутренних резьб в деталях, изготовленных с применением аддитивных технологий, необходимо рассмотреть отклонения, возникающие в результате деления 3D-моделей на слои с целью их дальнейшей печати.

2. Основная часть

Процесс подготовки детали к печати состоит из создания 3D-модели детали и управляющей программы (G-кода) для оборудования. 3D-модель детали необходимо создать в любой системе автоматизированного проектирования (САПР), которая имеет возможность сохранять 3D-модели в формате STL. Для создания управляющей программы по трехмерной модели детали необходима программа-слайсер. Слайсер – компьютерная программа, послойно преобразующая

виртуальную трехмерную модель формата STL в машинный код (G-code).

В следствие того, что детали изготавливаются послойно, на их угловых и криволинейных поверхностях проявляется дефект ступенчатости. В большинстве программ-слайсеров, разрабатываемых производителями 3D-принтеров и независимыми разработчиками (Slic3r, Cura, Simplify3D, KISSLICER, IntamSuite и т.п.), торцы слоев на угловых поверхностях располагаются так, чтобы номинальная угловая или криволинейная поверхность, построенная в САПР, проходила через середину их толщины (рис. 2). [4]

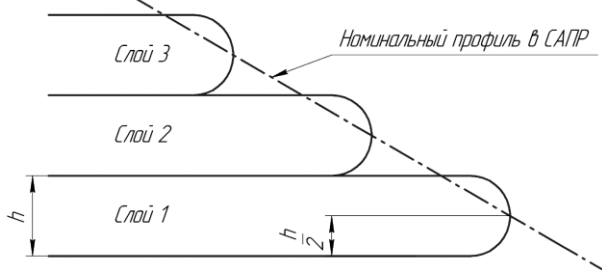


Рис. 2 Расположение слоев на угловых поверхностях при их разделении в программах-слайсерах

Отклонения размеров a , b и t (рис. 3) между номинальным профилем, построенным в САПР, и профилем, полученным после деления на слои, можно вычислить геометрически.

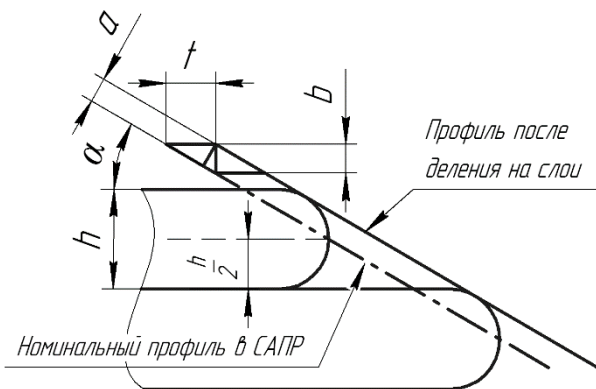


Рис. 3 – Отклонения размеров профиля, полученного при делении поверхности на слои, от номинального профиля в САПР

Размер a определяется по формуле [4]:

$$a = h \cdot \frac{1 - \sin(\alpha)}{2}, \quad (1)$$

где h – толщина слоя, мм; α – угол наклона номинального профиля.

Тогда размеры b и t можно определить по формулам:

$$b = \frac{a}{\cos(\alpha)}, \quad (2)$$

$$t = \frac{a}{\sin(\alpha)}. \quad (3)$$

Профиль метрической резьбы установлен ГОСТ 9150-2002 и представляет собой треугольник с углом при вершине 60° . Подставляя в формулы (1-3) половину угла при вершине треугольника $\alpha = 30^\circ$, а затем значение a в формулу (3) получим отклонение t для метрической резьбы:

$$t = h \cdot 0,5. \quad (4)$$

При делении 3D-моделей резьб на слои, проявляется дефект ступенчатости, вследствие чего формируемый профиль резьбы не совпадает с номинальным профилем, построенным в САПР (рис.4).

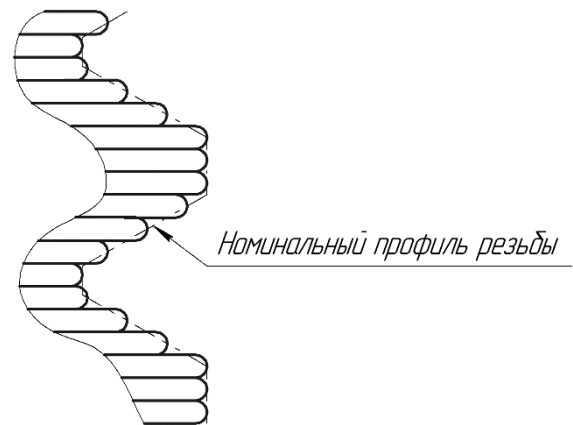


Рис. 4 – Отклонение профиля резьбы, полученного при делении профиля резьбы на слои, от номинального профиля резьбы, построенного в САПР

Полученный делением на слои профиль резьбы будет повторяться на всем протяжении резьбы. Степень отклонения такого профиля резьбы от номинального зависит от толщины слоя h , шага резьбы P и расположения слоев относительно номинального профиля резьбы. С увеличением толщины слоя и уменьшением шага резьбы степень отклонения от номинального профиля резьбы возрастает.

Допуски на внутренний диаметр внутренней резьбы D_1 и средний диаметр внутренней метрической резьбы D_2 в зависимости от степени точности установлены ГОСТ 16093-2004. Схема расположения полей допусков для внутренней резьбы представлена на рис. 5. [5]

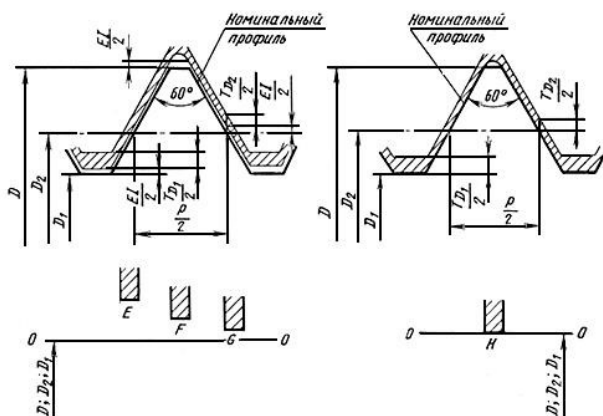


Рис. 5 – Схема расположения полей допусков для внутренней метрической резьбы по ГОСТ 16093-2004

Отклонения размеров по среднему диаметру резьбы D_2 , вследствие деления внутренней резьбы на слои, могут находиться в диапазоне от $t_{\min}$ до t (рис. 6).

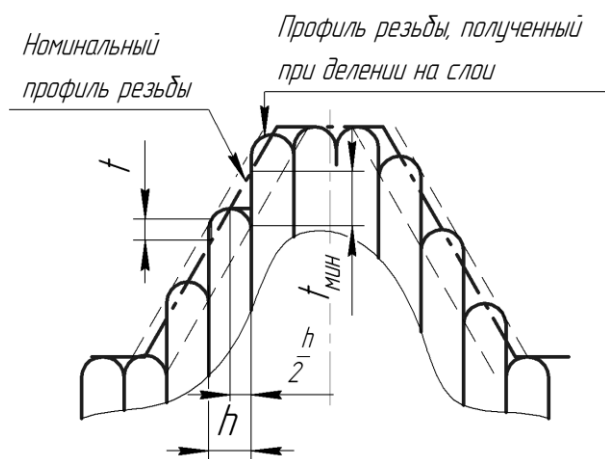


Рис. 6 – Схема отклонений от номинального профиля резьбы, вызванных делением 3D-модели внутренней резьбы на слои

Отклонение t можно определить по формуле (4), а отклонение $t_{\min}$ определяется геометрически по формуле:

$$t_{\min} = \frac{h}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + r_{\text{сфер}}, \quad (5)$$

где $r_{\text{сфер}}$ – радиус сферы на торце слоя, который может достигать половины толщины слоя $h/2$.

По ГОСТ 16093-2004 поля допусков на размеры внутренней резьбы расположены выше номинального профиля резьбы (рис. 5), таким образом размеры внутренней резьбы не должны быть меньше размеров номинального профиля. Вследствие деления резьбы на слои получаемый профиль резьбы имеет участки,

размеры которых меньше номинального профиля вплоть до отклонения $t_{\min}$ (рис. 6), что приводит к полному несоответствию с ГОСТ 16093-2004. Это несоответствие будет характерно для всех внутренних резьб, формируемых с помощью аддитивных технологий при разделении торцов слоев на наклонных поверхностях по середине слоя.

С другой стороны, для того чтобы полученная резьба соответствовала ГОСТ 16093-2004, отклонение t не должно превышать половины допуска по среднему диаметру внутренней резьбы $T_{D_2}/2$ (рис. 5).

Для оценки отклонений t и $t_{\min}$ рассчитаем их величины в зависимости от толщины слоя печати h по формулам (4) и (5) соответственно и сведем их значения в таблицу 1.

Таблица 1 – величины отклонений t и $t_{\min}$ в зависимости от толщины слоя печати h

Толщина слоя печати h , мкм	Величина отклонения t , мкм	Величина отклонения $t_{\min}$, мкм
50	25	68,3
100	50	136,6
150	75	204,9
200	100	273,2

Кроме отклонений размеров, влияющих на средний диаметр внутренней резьбы, формируемой послойно, в процессе разделения 3D-модели резьбы на слои также могут возникнуть отклонения размеров выступов и впадин профиля резьбы.

Если толщина слоя печати h больше чем ширина выступа – $P/4$ или впадины – $P/8$ профиля метрической резьбы, то это приводит к значительным отклонениям от номинального профиля резьбы, связанным с расположением слоев. Наиболее значительные отклонения могут проявляться, когда два соседних слоя прилегают друг к другу по середине выступа или впадины профиля резьбы (рис. 7).

Отклонения от номинального профиля резьбы при прилегании двух соседних слоев друг к другу по середине выступа $t_{\text{выс}}$ или впадины $t_{\text{вп}}$ можно вычислить геометрически как высоту равнобедренной трапеции по формулам:

$$t_{\text{выс}} = \frac{h - \frac{P}{4}}{2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha)}, \quad (6)$$

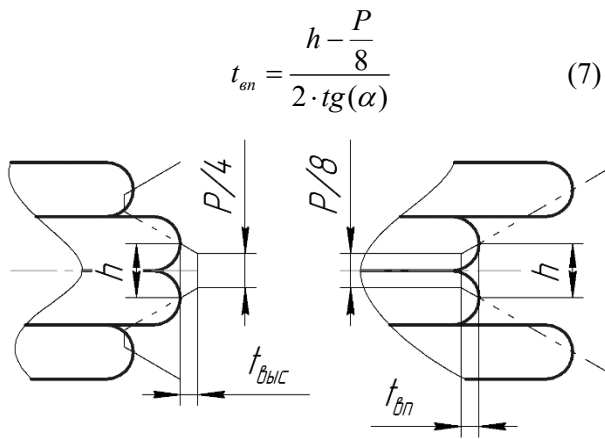


Рис. 7 – Наибольшие отклонения от номинального профиля резьбы при $h > P/4$ и $h > P/8$, связанные с расположением слоев

В случаях $h \leq P/4$ и $h \leq P/8$, по крайней мере один слой совпадет с номинальным профилем выступа или впадины резьбы, независимо от расположения слоев, поэтому в данных случаях отклонений $t_{выс}$ и $t_{вп}$ не возникает.

Если толщина слоя $h > P$, то формирование резьбы с таким шагом при помощи аддитивных технологий становится невозможным. Значительные несоответствия профиля резьбы также возникают при значениях толщины слоя $h \geq P/2$. В таких случаях, в зависимости от расположения слоев, профиль резьбы может не формироваться вообще, либо представлять собой прямоугольные выступы. Крайние случаи формирования резьбы при $h = P/2$ в зависимости от расположения слоев представлены на рис. 8

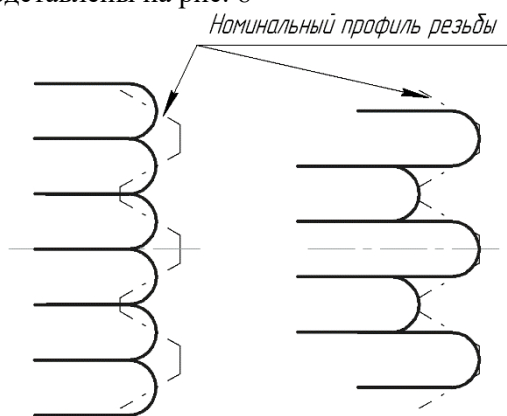


Рис. 8 – Крайние случаи формирования резьбы при $h = P/2$ в зависимости от расположения слоев

Таким образом, имеет смысл формировать послойно только резьбы, значения шага P которых значительно превышает толщину слоя печати h . Чем больше шаг резьбы и меньше

толщина слоя печати, тем ближе профиль резьбы, полученный делением на слои, соответствует номинальному профилю.

Наиболее рационально формировать внутренние резьбы послойно в случаях, когда не возникает отклонений $t_{выс}$ и $t_{вп}$, следовательно выполняется условие $h \leq P/8$. При выполнении данного условия, полученный делением на слои профиль резьбы, будет наиболее схож с номинальным профилем резьбы.

Подберём минимальные значения шага метрической резьбы по ГОСТ 9150-2002 [6], при которых условие $h \leq P/8$ будет выполняться для различных толщин слоя печати, и сведём найденные значения в таблицу 2

Таблица 2 – Минимальные значения шага метрической резьбы при которых выполняется условие $h \leq P/8$

Толщина слоя h , мкм	Минимальные значения шага P при котором выполняется условие $h \leq P/8$, мм
50	0,5
100	1,0
150	1,25
200	1,75

3. Выводы

Таким образом, при делении 3D-моделей деталей с внутренними резьбами на слои, для их дальнейшего изготовления, возникает дефект ступенчатости на поверхностях профиля резьбы. Данный дефект приводит к отклонениям размеров у полученного при делении на слои профиля резьбы от номинального профиля резьбы, установленного по ГОСТ 9150-2002. С увеличением толщины слоя и уменьшения шага резьбы отклонения размеров увеличиваются.

В том случае, когда толщина слоя печати превышает размеры шага резьбы, то формирование резьбы с таким шагом при помощи аддитивных технологий становится невозможным.

Значительные несоответствия при формировании профиля резьбы послойно возникают при значениях толщины слоя печати, превышающих ширину выступа или впадины номинального профиля резьбы. Таким образом, наиболее рационально формировать детали с внутренними резьбами при помощи аддитивных технологий, в том случае, когда толщина слоя печати меньше либо равна ширине впадины резьбы т.е. выполняется условие $h \leq P/8$

Список литературы

1. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. – 220 с.
2. Gartner Hype Cycle 2019: 3D Printing Predictions [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.3dnatives.com/en/gartner-hype-cycle-3dprintingpredictions-150120194> – Дата обращения: 02.02.21
3. Слюсар, В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант / В.И.Слюсар // Конструктор. – 2002. – № 1. – С.5 – 7.
4. Sigmund A. Dimensional accuracy of threads manufactured by fused deposition modeling / A. Sigmund., W. Torgeir., E. Christer // Procedia Manufacturing – 2018. – №26. – P. 763–773.
5. ГОСТ 16093-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором
6. ГОСТ 9150-2002 (ИСО 68-1-98). Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Профиль.

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 p.
2. Gartner Hype Cycle 2019: 3D Printing Predictions [Electronic resource] – URL: <https://www.3dnatives.com/en/gartner-hype-cycle-3dprintingpredictions-150120194> – (accessed 02.02.21)
3. Slyusar, V.I. Fabber technologies: self-designer and manufacturer / V.I. Slyusar // Konstruktor. – 2002 – № 1. – P. 5 – 7.
4. Sigmund A. Dimensional accuracy of threads manufactured by fused deposition modeling / A. Sigmund., W. Torgeir., E. Christer // Procedia Manufacturing – 2018. – №26. – P. 763–773.
5. GOST 16093-2004. Basic norms of interchangeability. Metric thread. Tolerances. Clearance landings.
6. GOST 9150-2002 (ISO 68-1-98) Basic norms of interchangeability. Metric thread. Profile.

УДК 621

ОРТОГОНАЛЬНАЯ РЕЗКА ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ МИКРО-РИФЛЕННЫМИ РЕЖУЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

Н.А. Владимирова

Чувашский государственный университет им.Ульянова, г.Чебоксары, 428000, Россия, nata1410_1997@mail.ru

Аннотация

В данной работе представлены ортогональные эксперименты по влиянию резания микро-текстурированных/ микро-рифленых режущих инструментов из карбида вольфрама на силы резания, коэффициент трения и износ инструмента при сухом резании легированной стали AISI 4340. Известно, что структурированные режущие кромки, а также текстурированные поверхности инструментов улучшают трибологических характеристик за счет снижения трения. Наибольший эффект для снижения сил резания и трения обеспечивают перпендикулярные микроканавки. А диагональные микроканавки, в свою очередь, улучшают износостойкость инструмента. Так же, в данной работе были испытаны микроканавки, параллельные режущей кромке твердосплавного инструмента, при сухой и криогенной резке титанового сплава Ti-6Al-4V. Силы резания и трения оказались ниже, чем при резании нетекстурированными инструментами. Установлено, что инструменты с микровынушками улучшают износостойкость, однако механическая блокировка приводит к более высокому образованию нароста на режущей кромке. Инструменты с микророздками снижали образование нароста, хотя износ инструмента был выше. Сообщается о влиянии скорости резания и скорости подачи. Полученные результаты свидетельствуют о некотором влиянии параметров микропореций на удельные силы резания, трение вдоль контакта инструмент-стружка и износ инструмента.

Ключевые слова: резание, инструмент, микро-текстура, эксперимент, режущая кромка, сила резания, коэффициент, износ, микро-электроэрозионная обработка, покрытие, канавка, диапазон.

ORTHOGONAL CUTTING OF ALLOY STEEL 4340 WITH MICRO-GROOVED CUTTING TOOLS

N. A. Vladimirova

Chuvash State University named after Ulyanova, Cheboksary, 428000, Russia, nata1410_1997@mail.ru

Abstract

This paper presents orthogonal experiments on the effect of cutting micro-textured / micro-grooved tungsten carbide cutting tools on cutting forces, coefficient of friction and tool wear during dry cutting of AISI 4340 alloy steel. Structured cutting edges as well as textured tool surfaces are known to improve tribological performance by reducing friction. The greatest effect for reducing cutting forces and friction is provided by perpendicular micro-grooves. And diagonal micro-grooves, in turn, improve the wear resistance of the tool. Also, in this work, micro-grooves parallel to the cutting edge of a carbide tool were tested during dry and cryogenic cutting of Ti-6Al-4V titanium alloy. The cutting and friction forces were lower than when cutting with non-textured tools. It was found that tools with microfractures improve wear resistance, but mechanical blocking leads to a higher build-up on the cutting edge. Tools with micro-grooves reduced the formation of build-up, although the tool wear was higher. The effect of cutting speed and feed rate is reported. The results obtained indicate a certain influence of the parameters of microcracks on the specific cutting forces, friction along the tool-chip contact, and tool wear.

Keywords: cutting, tool, micro-texture, experiment, cutting edge, cutting force, coefficient, wear, micro-electroerosive treatment, coating, groove, range.

Структурированные режущие кромки, а также текстурированные поверхности инструментов, как известно, обеспечивают преимущества в улучшении трибологических характеристик за счет снижения трения, повышенной износостойкости и улучшенного переноса тепла во время процессов резания, что может устранить необходимость в смазочных материалах или охлаждающих жидкостях [1]. Согласно литературным данным, существует несколько различных конструкций для текстурированных поверхностей режущего инструмента (передняя или боковая), включая рисунки с канавками, ямочками или ямками, в зависимости от используемого метода изготовления и предполагаемого применения резки. Эти текстурированные поверхности могут быть получены в микро- или наноразмерном масштабе и могут быть нанесены на передние и боковые поверхности режущих пластин. Что касается режущей кромки, перпендикулярные, параллельные и поперечные V-образные микроканавки и нечеткие нанотекстуры были изготовлены на инструментах из цементированного карбида и испытаны при резании алюминиевого сплава 5052 [2]. Было обнаружено, что перпендикулярные микроканавки более эффективно снижают силы резания и трение [2]. Аналогичным образом крестообразные, перпендикулярные и диагональные микроканавки были нанесены на переднюю поверхность твердосплавного инструмента и испытаны при сухой токарной обработке титанового сплава Ti-6Al-4V [3]. Однако сообщалось, что диагональные микроканавки улучшают износостойкость. Микроканавки, параллельные режущей кромке твердосплавного инструмента, были испытаны при сухой и криогенной резке титанового сплава Ti-6Al-4V, и силы резания и трение

оказались ниже, чем при резании нетекстурированными инструментами [4]. Диагональные микроканавки (шириной 100 мкм и глубиной 50 мкм) на передней поверхности инструмента из кубического нитрида бора (cBN) на расстоянии 10 мкм от режущей кромки были изготовлены с помощью μ -EDM фрезерования и испытаны в твердой токарной стали AISI 52100 [5]. Снижение сил резания, износа инструмента и коэффициента трения наблюдалось при низких значениях подачи. На передней поверхности инструмента были нанесены микролунки, параллельные и перпендикулярные микроканавки, и было исследовано их влияние на износ инструмента и образование наростов (BUE) во время токарной обработки углеродистой стали 1045 [6]. Было обнаружено, что инструменты с микровынушками улучшают износостойкость, однако механическая блокировка приводит к более высокому образованию BUE. Инструменты с микророздками снижали образование BUE, хотя износ инструмента был выше. Перпендикулярные микроканавки и параллельные синусоидальные наноканавки на передних торцах инструмента из карбида с алмазоподобным покрытием были изготовлены и испытаны на торцевом фрезеровании алюминиевого сплава 5052 [7]. Было обнаружено, что площадь сцепления и коэффициент трения можно значительно уменьшить. Перпендикулярные и параллельные микроканавки на передней и боковой поверхностях инструмента из цементированного карбида были изготовлены и испытаны при торцевом фрезеровании среднеуглеродистой стали в сухих и влажных условиях [8]. Инструменты показали лучшую износостойкость во влажном состоянии и улучшенную стойкость к кратерному износу благодаря наличию резервуаров для смазочно-

охлаждающей жидкости. В литературе показано, что создание микротекстур на поверхности инструмента может быть достигнуто с помощью различных процессов удаления, включая μ -EDM [5], микрошлифование [3], лазерную микрообработку [2, 6, 7, 8, 9] обработка сфокусированным ионным пучком [10]. Эти процессы могут повлиять на размер, форму и размерное качество микротекстур. Текстурированные типы инструментов, включая микроканавки, перпендикулярные, параллельные и диагональные под углом к основной режущей кромке, рассматривались в литературе. Среди них рисунки с микророздками, перпендикулярные или диагональные к режущей кромке, могут обеспечить лучшую помощь при формировании стружки. Если микротекстуры изготовлены на расстоянии от режущих кромок (как основной, так и задней кромок) для токарных процессов, они не влияют на прочность кромки режущей пластины. Однако неясно, какой должна быть оптимальная форма и размеры этих микроканавок, чтобы изучить все потенциальные преимущества, предлагаемые микротекстурированной поверхностью режущего инструмента. Поэтому, чтобы изучить основное влияние параметров перпендикулярного рисунка микроканавок, в данной экспериментальной работе рассматривается конфигурация ортогонального резания легированной стали 4340.

В этой работе основное внимание уделяется испытаниям режущих пластин из карбида вольфрама (WC/Co) с микророздками при ортогональном резании легированной стали 4340. Изучалось влияние параметров микроканавок, скорости резания и скорости подачи на силы резания и износ инструмента. Для этого на отожженной легированной стали 4340 было выполнено ортогональное точение тонких перемычек (ширина среза $a_p = 3$ мм) с использованием пластины типа TPG432 (радиус режущей кромки пластины $r_\beta = 5$ мкм и угол затухания $\alpha = 11^\circ$) в жестком токарном центре с ЧПУ (рис.1).

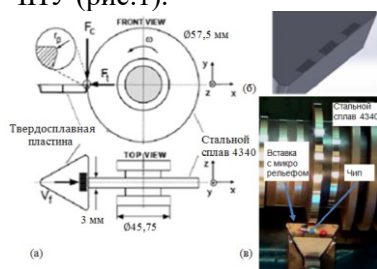


Рис. 1. Экспериментальная конфигурация ортогонального точения (а), конструкция режущих пластин инструмента (б) и поток стружки на месте во время эксперимента (в).

Все испытания на резку проводились в сухих условиях, т.е. без использования СОЖ или смазки. Пластины использовались с держателем инструмента (Kennametal CTODN 64-4F), который обеспечивал передний угол 0° . Силы резания измерялись силовым динамометром (Kistler Type 9121), установленным на револьверном диске токарного центра с числовым программным управлением (ЧПУ), и регистрировались усилителем заряда (Kistler Type 5814B1) и картой сбора данных на портативном компьютере в частота дискретизации 1000 Гц на канал. Экспериментальная конфигурация вместе с режущей пластиной инструмента с микроканавками, а также результирующий поток стружки на месте показаны на рис. 2. На этом рисунке сила резания обозначена как F_c , а сила тяги – как F_t .

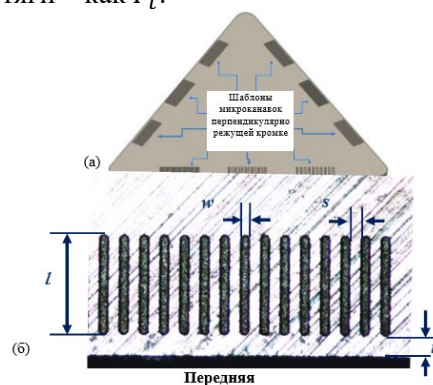


Рис.2. Расположение рисунков микроканавок на геометрии пластины режущего инструмента (а), изображение с помощью оптической микроскопии участка микроканавки, изготовленного с определением параметров микроканавок ($l=500$ мкм, $W=50$ мкм, $s=50$ мкм, $t=100$ мкм) (б).

В испытаниях на резку скорость резания ($V_c = 25$ м/мин, 75 м/мин, 125 м/мин) и подача ($f = 0,1$ мм/об, $0,125$ мм/об, $0,15$ мм/об, $0,2$ мм/об) были разнообразными. Фактическая ширина реза (a_p) и подача (f) в каждом испытании использовались для расчета удельных сил. Всего было протестировано 27 различных наборов параметров микроканавок, чтобы исследовать влияние расстояния (интервалов), глубины (d) и ширины (w) микроканавок на удельные силы резания и коэффициент трения.

В этом исследовании представлены эффекты параллельных текстурных узоров с микрорельефами, нанесенных на переднюю поверхность режущего инструмента в легированной стали 4340 с ортогональной режущей кромкой. Отчетливое влияние размерных параметров микроканавок, таких как ширина, расстояние и глубина, на удельные силы, коэффициент трения и износ инструмента при различных скоростях резания и подачах.

Список литературы

1. Methodology to analyze the functional and physical. Orthogonal cutting of alloy steel 4340 with micro-grooved cutting tools // *Procedia CIRP* 82 (2019) 178–183
2. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
3. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
4. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
5. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
6. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
7. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.
8. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
9. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2020. № 2 (54). С. 65-77.
10. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.
11. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.

References

1. Methodology to analyze the functional and physical. Orthogonal cutting of alloy steel 4340 with micro-grooved cutting tools // *Procedia CIRP* 82 (2019) 178–183
2. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Application of elements of fuzzy logic in assessing moisture availability in the plant-soil-air system // In the collection: Fuzzy technologies in industry - FTI 2018. Materials of the II International Scientific and Practical Conference. Ser. "Materials of the CEUR seminar" 2018, pp. 404-409.
3. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasyeva I. Methodology for the control of reclamation technologies on inclined cultivated lands using a large-scale profilometer // In the collection: Technics for rural development. Progress. 2018.S. 537-542.
4. Maksimov I.I., Vasiliev S.A., Vasiliev A.A. Mechanized application of ameliorants to preserve soil moisture on arable land // In the collection: IEP conference series: Materials Science and Engineering. 2019.S. 012027.
5. Vasiliev A.A., Vasiliev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid ameliorants // In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference materials. Krasnoyarsk City Hall of Science and Technology of the Union of Scientific and Engineering Societies of Russia. 2020.S. 32026.
6. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. Obtaining the functional dependence of the coefficient of friction of soil against steel // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.S. 012137.
7. Chernukhin R.V., Dolgushin A.A., Kasimov N.G., Ivantsivsky V.V., Lobanov D.V., Vasiliev S.A., Martyushev N.V. Justification of the consumption characteristics of the recuperator for the thermal unit of machines and equipment // Metal processing (technology, preparation equipment, tools). 2020.Vol. 22.No. 4.P. 82-93.
8. Alekseev V.V., Filippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. The use of the volumetric crushing factor of the soil to assess the mechanical impact // In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environment Science. 2019.S. 032043.
9. Fedorova A.A., Vasiliev M.A., Vasiliev S.A. Mathematical model of the trajectory of measuring the surface by circular scanning with a laser profilograph. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavod. Volga region. Technical science*. 2020. No. 2 (54). S. 65-77.
10. Vasiliev S.A., Alekseev V.V., Vasiliev M.A., Fedorova A.A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020.Vol. 22.No. 4.P. 71-81.
11. Vasiliev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. Investigation of the features of the profilograph to determine the geometric characteristics of products by the laser scanning method // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk City Hall of Science and Technology of the Union of Scientific and Engineering Societies of Russia. Krasnoyarsk, Russia, 2020.S. 32021.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖАРОПРОЧНЫХ И ИЗНОСОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОНАПРЯЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ

Ю.О.Владимирова¹, П.Г. Данилов¹, Е.П. Шалунов¹

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
г. Чебоксары, 428015, Россия, yulivladimirova@mail.ru

Аннотация

Работа посвящена анализу известных на данный момент материалов для теплонапряженных узлов трения, а так же выбору наиболее перспективных из них. В частности, для деталей узлов трения, испытывающих значительный износ при высоких удельных нагрузках (900 МПа и более) и высоких температурах (более 800°C), предложено использовать объемные наноструктурные материалы на основе порошковой меди, содержащие, % мас.: алюминий – 2,6...3,2; углерод – 0,6...1,2; кислород – 0,2...0,22; медь – остальное. Эти материалы изготавливаются методом реакционного механического легирования в высокоэнергетических шаровых мельницах - атриторах (в среде воздуха), а так же применяются технологии порошковой и гранульной металлургии.

Указывается, что медный материал с 3,0 % мас. алюминия и 0,9 % мас. углерода обладает высокой температурой рекристаллизации - 1000°C, твердостью 230 HB_{5/750/30}, теплопроводностью 65,0 Вт/м·°C при 25°C и 56,4 Вт/м·°C при 400°C, коэффициентом линейного термического расширения $17,0 \times 10^{-6}$ 1/°C при 20...100°C и $22,6 \times 10^{-6}$ 1/°C при 600...700°C.

Указанный медный материал по многим своим характеристикам превышает аналогичные показатели стандартных материалов, используемых на данный момент в теплонапряженных узлах трения.

Ключевые слова: узлы трения, жаропрочность, износостойкость, наноструктурные материалы, направляющие втулки, плунжеры машин литья под давлением, теплонапряженные, температура рекристаллизации, износ.

USE OF HEAT-RESISTANT AND WEAR-RESISTANT MATERIALS FOR HEAT-STRESSED PARTS OF FRICTION UNITS

Yu.O. Vladimirova¹, P.G. Danilov¹, E. P. Shalunov¹

¹ I. N. Ulianov Chuvash State University, Cheboksary, 428015, Russia, yulivladimirova@mail.ru

Abstract

The work is devoted to the analysis of currently known materials for heat-stressed friction units, as well as the selection of the most promising of them. In particular, for parts of friction units experiencing significant wear at high specific loads (900 MPa and more) and high temperatures (more than 800 °C), it is proposed to use volumetric nanostructured materials based on powdered copper containing, wt%: aluminum - 2, 6 ... 3.2; carbon - 0.6 ... 1.2; oxygen - 0.2 ... 0.22; copper is the rest. These materials are produced by reactionary mechanical alloying in high-energy ball mills - attritors (in air), as well as powder and granular metallurgy technologies are used.

It is indicated that copper material with 3.0 wt. % aluminum and 0.9 wt. % carbon has a high recrystallization temperature of 1000 °C, a hardness of 230 HB_{5/750/30}, a thermal conductivity of 65.0 W/m · °C at 25 °C and 56.4 W/m · °C at 400 °C, a linear thermal coefficient expansion 17.0×10^{-6} 1/°C at 20 ... 100 °C and 22.6×10^{-6} 1/°C at 600 ... 700 °C.

The specified copper material in many of its characteristics exceeds those of standard materials currently used in heat-stressed friction units.

Keywords: friction units, heat resistance, wear resistance, nanostructured materials, guide bushings, plungers of die casting machines, heat-stressed, recrystallization temperature, wear.

Известно [1, 2], что детали, входящие в узлы трения, где взаимное линейное перемещение элементов происходит при высоких значениях температур и контактных давлений, подвергаются повышенному износу. Это, прежде всего, объясняется с тем, что в условиях возвратно-поступательного

движения сила трения в контакте между деталями пар трения попеременно направлена в противоположные стороны. Поэтому деформация микрообъема материала этих деталей в зоне их контакта будет иметь усталостный характер. Нужно так же учесть то, что возможен перекося одной детали пары

трения по отношению к другой, а значит, могут возникнуть зоны, где контактное давление между деталями уменьшается, или, наоборот, резко возрастает. При этом такое плотное контактное взаимодействие зачастую приводит к появлению пластической деформации материала деталей, что выражается в возникновении задигов и схватывании деталей пары трения [1, 4].

Одним из наиболее распространенных примеров теплонагруженных пар трения в автомобилестроении является пара «направляющая втулка – клапан» газораспределительного механизма двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Клапан, выполняя важную функцию впуска топливно-воздушной смеси в блок цилиндров или выпуска отработавших газов, совершает возвратно-поступательные движения, скользя по поверхности отверстия направляющей втулки. Клапан является самой горячей деталью двигателя и в рабочем цикле может нагреваться до температуры 927...1002°C. При этом часть тепла передается от клапана направляющей втулке, в результате чего ее температура может достигать 900°C [3].

В качестве еще одного примера деталей, работающих в похожих условиях эксплуатации, можно привести плунжер машины литья под давлением.

Плунжер машин литья под давлением, осуществляя подачу цветных металлов или пластмасс в расплавленном состоянии из камеры прессования в пресс-форму, совершает возвратно-поступательное движение относительно внутренней поверхности камеры прессования машины литья под давлением. Температура выталкиваемого им расплава из камеры прессования достигает 720...960°C [4-6]. Одновременно с такими температурными нагрузками плунжер испытывает высокие осевые удельные нагрузки (до 900 МПа) [4], а в контакте плунжера с камерой прессования значение радиального контактного давления может достигать 100 МПа и более [5, 6]. Исходя из вышеизложенного следует вывод, что условия эксплуатации плунжеров машин литья под давлением являются крайне тяжелыми.

Таким образом, для того, чтобы указанные выше теплонапряженные детали имели высокий ресурс, материалы для их изготовления должны обладать целым рядом свойств. Они должны иметь хорошую теплопроводность и невысокий коэффициент линейного температурного расширения – по крайней мере на уровне стандартных медных сплавов (латуней, бронз) аналогичного

назначения. Из-за специфического характера пластического деформирования микронеровностей на контактных поверхностях этих деталей в условиях реверсирования трения при больших контактных давлениях и температурах, материалы для них должны иметь высокую твердость (не менее 200 НВ) и прочность (в частности, предел прочности на сжатие - не менее 1000 МПа), в том числе при высоких температурах. Для предотвращения разупрочнения материала деталей во время их эксплуатации и, соответственно, предотвращения потери их прочности и износостойкости, материалы для их изготовления должны обладать также высокой температурой рекристаллизации – не менее 900°C.

Часто, пары трения, эксплуатирующиеся в указанных условиях, изготавливают из специальных жаропрочных сталей, которые впоследствии подвергают различным методам термической или термохимической обработки и из серых перлитных и отбеливающих чугунов, а также из аустенитных сталей. Однако ни те, ни другие материалы не соответствуют предъявляемым к ним требованиям, так как детали пар трения из сталей изнашивают свое контртело, а детали, изготовленные из чугунов – изнашиваются сами [7, 8].

Широкое применение в направляющих втулках клапанов и поршней машин литья под давлением нашли сплавы на основе меди, в том числе сложнoleгированные латуни (например, CuZn40Al2), а также бронзы (CuNi2Si F65). Однако, поршни литейных машин из этих материалов имеют недостаточно высокий ресурс, и их приходится часто менять [9, 10].

Тем не менее, вопрос использования именно медных материалов, обладающих высокой (более 950°C) температурой рекристаллизации, высокой твердостью и прочностью при этих температурах, и лучшей, чем у чугунов и сталей теплопроводностью, а также меньшей интенсивностью изнашивания в условиях агрессивных сред, является очень актуальным.

Указанным требованиям могут удовлетворять объемные наноструктурные материалы на основе меди, упрочняющие фазы (дисперсоиды) в которых имеют размеры менее 100 нм, а коэффициент упрочнения этих материалов непрерывно растет с повышением температуры вплоть до 0,9...0,95 температуры плавления меди [11].

В настоящей работе предложено использовать в качестве материалов для направляющих втулок клапанов ДВС и плунжеров машин литья под давлением объемные наноструктурные материалы на основе порошковой меди, содержащие в исходной порошковой шихте 2,6...3,2 % мас. алюминия и 0,6...1,2 % мас. углерода [12-16].

Для получения данных материалов с повышенными показателями жаропрочности и износостойкости используется метод реакционного механического легирования (РМЛ) в высокоэнергетических шаровых мельницах – атриторах, а также операции порошковой и гранульной металлургии [12, 16]. В частности, сначала порошковую шихту массой 2 кг, подготовленную из порошков электролитической меди, технического алюминия и карандашного графита, подвергают обработке в воздушной среде 15-ти литровой рабочей камеры атритора при частоте вращения ротора 600 мин^{-1} в течение 60 мин. Далее полученные гранулы подвергают холодному прессованию в брикеты, которые затем нагревают в специальных технологических капсулах, содержащих древесный карбюратор. После чего нагретые брикеты подвергают горячему прессованию в высокоплотные горячехудрурованные полуфабрикаты с требуемым профилем поперечного сечения (круглым или трубчатым).

Комплекс проведенных соответствующих исследований установил, что в результате механохимического синтеза, происходящего при осуществлении процесса РМЛ в воздушной среде рабочей камеры атритора и последующего термомодеформационного передела полученных в атриторе гранул, в медной матрице образуются динамически термостабильные частицы оксида алюминия $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, размеры частиц которого, как показывают стереологические исследования тонкой структуры материалов, составляют от 32 нм до 46 нм. В структуре также присутствует остаточный углерод в ультрадисперсной форме. Исследования тонкой структуры материалов с использованием электронной просвечивающей микроскопии и фольг также выявили сильно выраженную их субзернистую структуру, размеры зерен в которой находятся в пределах от 80 нм до 150 нм.

Температура рекристаллизации этих объемных наноструктурных материалов составляет от 950°C до 1000°C . В частности, материал с содержанием 3 % мас. алюминия и

0,9 % мас. углерода обладает температурой рекристаллизации 1000°C (при температуре плавления самого материала 1080°C). Твердость материала составляет $230 \text{ HB}_{5/750/30}$, предел прочности при сжатии в направлении прессования равен 1022 МПа , теплопроводность в направлении прессования равна $65,0 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ при 25°C и $56,4 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ при 400°C , коэффициент линейного термического расширения при $20\ldots100^\circ\text{C}$ равен $17,0 \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$, а при $600\ldots700^\circ\text{C}$ – $22,6 \times 10^{-6} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

В связи с такими высокими показателями температуры рекристаллизации, а также прочностными характеристиками, можно считать, что данный материал обладает повышенной жаропрочностью, что объясняется, прежде всего, отмеченными выше особенностями его тонкой структуры.

Надо отметить, что структура объемного наноструктурного материала соответствует так же правилу Ж. Шарпи, в связи с чем материал должен обладать и хорошими антифрикционными свойствами.

С целью подтверждения данной гипотезы были проведены испытания на износ пары трения «направляющая втулка – клапан», где направляющие втулки изготавливали из указанного выше объемного наноструктурного материала и серого чугуна Gh 1051, используемого в направляющих втулках клапанов некоторых двигателей. В качестве контртела использовали выпускные клапаны с ионно-азотированным стержнем. Режимы испытаний были схожи с натурными испытаниями данных деталей, а именно: ход клапана – 11 мм при частоте возвратно-поступательного движения клапана – 1500 цикл./мин. Продолжительность испытаний одной пары составляла 4 ч. Температура нагрева втулки клапана, измеряемая зачеканенной в ее верхнюю часть термопарой, поддерживалась на уровне $700 \pm 10^\circ\text{C}$.

Результаты испытаний показали, что интенсивность изнашивания направляющих втулок из объемного наноструктурного материала в 2,63 раза ниже, чем у аналогичных направляющих втулок из серого чугуна. Что касается интенсивности изнашивания самого клапана, то она стала меньше в 2,75 раза.

Учитывая приведенные триботехнические характеристики, можно считать, что объемный наноструктурный материал обладает повышенной износостойкостью при высоких температурах испытаний.

С учетом всего вышеизложенного, имеются основания рекомендовать объемный

наноструктурный материал на основе порошковой меди в качестве антифрикционного жаропрочного материала для направляющих втулок клапанов

высокофорсированных двигателей внутреннего сгорания, а также плунжеров машин литья под давлением.

Список литературы

1. Чичинадзе, А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для техн. вузов; 2-е изд. перераб. и доп. / А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.
2. Ксенович, И.П. Триботехника и проблемы прикладной механики наземных мобильных машин / И.П. Ксенович // Приводная техника. – 2003. – №5. – С.2-5.
3. Вырубов, Д.Н. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование, расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей: уч. для вузов / Д.Н. Вырубов, С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко [и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
4. Vladimirova, Y. O. Development of copper dispersion-strengthened composite material with increased indexes of high-temperature strength and wear resistance for thermally loaded friction pairs / Y. O. Vladimirova, E. P. Shalunov // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – No. 1431. – Pp. 1-8. DOI:10.1088/1742-6596/1431/1/012012.
5. Колесников, М.С. Детали пресс-узлов горячекамерных машин литья под давлением Zn-сплавов их ЧШГ / М.С. Колесников, Г.Ф. Мухаметзянова // Литейное производство. – 2014. – №08. – С.21-22.
6. Чеберяк, О.И. Особенности прессовой пары на машинах литья под давлением с горизонтальной камерой прессования / О.И. Чеберяк, Н.Ф. Чувагин // Современные технологии в машиностроении и литейном производстве: материалы III Междунар. науч.- практ. конф. (Чебоксары, 4-6 дек. 2017 г.). – Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 2017. – С. 98-105.
7. Madej, M. [Phase reactions during sintering of M3/2 based composites with wc additions](#) / M. Madej // Archives of Metallurgy and Materials. – 2013. – V. 58. – No.3. – Pp. 703-708.
8. Болдырев, Д.А. Повышение износостойкости направляющих втулок клапанов / Д.А. Болдырев, Б.А. Чудинов // Физика прочности и пластичности материалов: сб. тез. XVI Междунар. конф., (Самара, 26 – 29 июня 2006 г.). – Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2006. – С. 31.
9. Смирягин, А.П. Промышленные цветные металлы и сплавы: справочник / А.П. Смирягин, Н.А. Смирягина, А.В. Белова. – М.: Металлургия, 1974. – 488 с.
10. Марукович, Е.И. Исследование триботехнических свойств литейного силумина АК15М3 / Е. И. Марукович, В. А. Кукареко, В. Ю. Степенко, В. Чекулаев, П. Г. Сухоцкий // Литье и металлургия. – 2018. – № 1(90). – С. 7-11.
11. Шалунов, Е.П. Особенности формирования объемных наноструктурных материалов на основе меди методом реакционного механического легирования / Е.П. Шалунов, В.М. Смирнов // Вестник Чувашского университета. – 2009. – № 2. – С. 291–299.
12. Шалунов, Е.П. Разработка научных основ, технологии и оборудования композиционных материалов // Е.П. Шалунов, Я.М. Липатов, Н.В. Данилов // Охрана труда и прогрессивные технологические процессы в литейном производстве, порошковой металлургии и машиностроении: тез. межреспубл. науч. – практ. конф. – Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т, 1990. – С.287-289.
13. Владимирова, Ю.О. Расчет заготовки поршня из объемного наноструктурного материала на основе меди для машин литья под давлением / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов, И.Е. Илларионов // Теория и технология металлургического производства. – 2019. – №2 (29). – С. 29.
14. Vladimirova, Y. O. Analysis of Operating Conditions of Heavy-loaded and Heat-stressed Friction Units of Powerful Internal Combustion Engines and Development of Copper Nanocomposite Powder Materials for Them / Y. O. Vladimirova, E. P. Shalunov // MATEC Web of Conferences – 2019. – Vol. 298 No. 1. – Pp. 1-9.
15. Владимирова, Ю.О. [Разработка жаро- и износостойкого наноконпозиционного материала на основе порошковой меди и технологии его изготовления для поршней машин литья под давлением](#) / Ю.О. Владимирова, Е.П. Шалунов // Четвертый междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии»– М: РАН, 2018. – С. 106-110.
16. Vladimirova, Y.O., Development of heat-and wear-resistant nanocomposite copper powder based material and technique of its obtaining used for plungers of die-casting machines/ Y.O. Vladimirova, E.P. Shalunov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 525. 012010. doi:10.1088/1757-899X/525/1/012010.

References

1. Chichinadze A.V., Braun E.D., Bushe N.A. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka)*, Moscow, Mashinostroenie, 2001, 664 p.
2. Ksenevich, I.P. *Tribology and problems of applied mechanics, land-based mobile machines*, Privodnaya tekhnika, 2003, No. 5, pp.2-5.
3. Vyrubov D.N., Efimov S.I., Ivashchenko N.A. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Konstruirovaniye, raschet na prochnost' porshnevyyh i kombinirovannyh dvigatelej*, Moscow, Mashinostroenie, 1984, 384 p.

4. Vladimirova Y. O., Shalunov E. P. *Development of copper dispersion-strengthened composite material with increased indexes of high-temperature strength and wear resistance for thermally loaded friction pairs*, Journal of Physics: Conference Series, 2020, No. 1431, pp. 1-8. DOI:10.1088/1742-6596/1431/1/012012.
5. Kolesnikov M.S., Muhametzyanova G.F. *Details of press units of hot-chamber injection molding machines of Zn-alloys of their CHSHG*, Litejnoe proizvodstvo, 2014, No.08, pp. 21-22.
6. Cheberyak O.I., Chuvagin N.F. *Features of the press pair on injection molding machines with a horizontal pressing chamber*, Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii i litejnom proizvodstve, Cheboksary: ChuvSU, 2017, pp. 98-105.
7. Madej M. [*Phase reactions during sintering of M3/2 based composites with wc additions*](#) Archives of Metallurgy and Materials, 2013, Vol. 58, No.3, pp.703-708.
8. Boldyrev D.A. *Improving the wear resistance of valve guide bushings*, Fizika prochnosti i plastichnosti materialov, Samara: Samara state university, 2006, p. 31.
9. Smiryagin A.P., Smiryagina N.A., Belova A.V. *Promyshlennyye cvetnyye metally i splavy*, Moscow.: Metallurgiya, 1974, 488 p.
10. Marukovich E.I., Kukareko V. A., Stecenko V. YU., Chekulaev V., Suhockij P. G. *Issledovanie A study of the tribological properties of cast silumin AK15M3*, Lit'e i metallurgiya, 2018, No 1(90), pp. 7-11.
11. Shalunov E.P., Smirnov V.M. *Features of the formation of bulk nanostructured materials based on copper by reaction mechanical alloying*, Vestnik Chuvashskogo universiteta, 2009, No 2, pp. 291–299.
12. Shalunov, E.P., Lipatov Ya.M., Danilov N.V. *Development of scientific bases, technologies and equipment of composite materials*, Ohrana truda i progressivnyye tekhnologicheskie processy v litejnom proizvodstve, poroshkovoj metallurgii i mashinostroenii, CHEboksary: Chuvash state university, 1990, pp. 287-289.
13. Vladimirova Yu.O., Shalunov E.P., Illarionov I.E. *Calculation of the piston billet from a volumetric nanostructured material based on copper for injection molding machines*, Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva, 2019, No2 (29), p. 29.
14. Vladimirova, Y. O., Shalunov E. P. *Development of copper dispersion-strengthened composite material with increased indexes of high-temperature strength and wear resistance for thermally loaded friction pairs*, Journal of Physics: Conference Series, 2020, No. 1431, pp. 1-8. DOI:10.1088/1742-6596/1431/1/012012.
15. Vladimirova Yu.O., Shalunov E.P. *Development of heat-and wear-resistant nanocomposite material based on porous copper and its manufacturing technology for pistons of injection molding machines*, CHetvertiy mezhdisciplinarnyj nauchnyj forum s mezhdunarodnym uchastiem «Novye materialy i perspektivnyye tekhnologii», Moscow: RAN, 2018, pp. 106-110.
16. Vladimirova Y.O., Shalunov E.P. *Development of heat-and wear-resistant nanocomposite copper powder based material and technique of its obtaining used for plungers of die-casting machines*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019, V. 525. 012010. doi:10.1088/1757-899X/525/1/012010.

УДК 681.5.01

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ЭЛЕКТРОЛИТА НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ШЛИФОВАНИИ СТАЛИ 12Х18Н10Т

А.С. Зворыгин¹ студент, М.А. Борисов² доцент

¹ 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 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

В промышленности широко используются электрофизические и электрохимические процессы обработки конструкционных материалов непосредственно с помощью электрического тока, электролиза и их сочетание с механическим воздействием. Это связано с высокой производительностью и возможностью выполнять технологические операции, недоступные простым механическим методам обработки. Наиболее производительным методом является метод электрохимического шлифования. Однако этот процесс не возможен без электролита. Электролиты разного состава с разными свойствами и добавками используются для проведения процесса электрохимического шлифования. Для определения точных характеристик и влияния электролита на основе NaCl на обработку металла необходимо изучить его свойства, электропроводность, плотность при различной температуре.

С появлением различных марок стали и улучшением свойств нержавеющей сталей необходимы усовершенствование и исследование методов электрохимического шлифования. Для исследования необходимо смоделировать и воспроизвести все процессы. В работе поясняется потребность и необходимость в расчетах

электропроводности раствора электролита на основе NaCl, которые позволят более продуктивно моделировать и реализовать процесс электрохимического шлифования, а также изучить закономерности, полученные в результате математического расчета.

Ключевые слова: электролит, плотность раствора, электропроводность, расчеты, площадь электрода, концентрация

CALCULATION OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF A NaCl-BASED ELECTROLYTE SOLUTION FOR ELECTROCHEMICAL GRINDING OF 12X18H10T STAINLESS STEEL

A.S. Zvorygin¹ student, M.A. Borisov² associate professor

¹ FSBEI of HE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanova", Cheboksary, 15 Moskovsky Ave., Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: zvory95@yandex.ru

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

Annotation

In industry, electrophysical and electrochemical processes are widely used for processing structural materials directly using electric current, electrolysis, and their combination with mechanical action. This is due to high productivity and the ability to perform technological operations that are inaccessible to simple mechanical processing methods. The most productive method is the method of electrochemical grinding. However, this process is not possible without electrolyte. Electrolytes of different compositions with different properties and additives are used to carry out the electrochemical grinding process. To determine the exact characteristics and influence of an electrolyte based on NaCl on metal processing, it is necessary to study its properties, electrical conductivity, density at different temperatures.

With the advent of various grades of steel and the improvement of the properties of stainless steels, improvements and research in electrochemical grinding methods are required. For the study, it is necessary to simulate and reproduce all processes. The paper explains the need and need for calculating the electrical conductivity of an electrolyte solution based on NaCl, which will allow more efficient modeling and implementation of the process of electrochemical grinding, as well as study the patterns obtained as a result of mathematical calculations.

Keywords: electrolyte, solution density, electrical conductivity, calculations, electrode area, concentration

Обработка деталей применяется во всех отраслях промышленности. Одним из методов обработки является электрохимическое шлифование [1-8].

Электроабразивная или электроалмазная обработка, электрохимическая обработка с нейтральным абразивом (шлифование, хонингование и полирование) и анодно-абразивная обработка. При электроабразивной и электроалмазной обработке съём металла осуществляется не только за счет реакции анодного растворения, но также и зернами абразива или алмаза.

Преимуществом указанной обработки является высокая производительность и стойкость инструмента. Помимо этого, в процессе электрохимического шлифования важную роль играет состав электролита и его свойства. Электролит обеспечивает протекание химических и электрических реакций. Кроме этого, как и обыкновенная смазывающе-охлаждающая жидкость, электролит 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.

При электрохимическом шлифовании используются различные плотности тока. Для уменьшения 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, его возможное применение не до

конца исследовано. Температурные характеристики электролита являются важными т.к. при меньшей температуре возможно снижение эффективности процесса обработки изделия, а при чрезмерно высокой возможны обратные негативные реакции. Температурные режимы для каждой марки стали подбираются индивидуально.

Для снижения коррозионного воздействия в растворы электролитов добавляются ингибиторы коррозии нитриты натрия или калия, йодистый калий, сегнетову 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.

В частности, для обеспечения высокого качества обработанной поверхности деталей из нержавеющей стали, необходимо рассчитать электропроводность раствора электролита на основе NaCl.

Цель работы состоит в расчете электропроводности и плотности электролита.

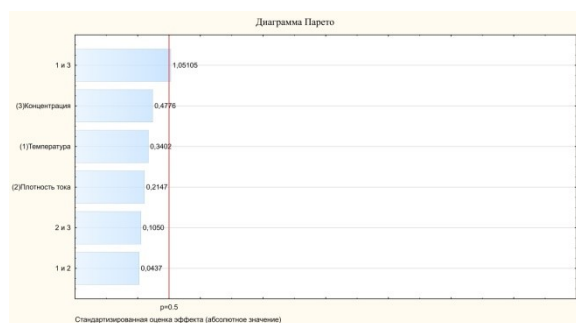


Рис.1. Диаграмма Паретто.

С помощью программного комплекса **Statistica** была составлена диаграмма Парето стандартизированных эффектов (рис.1), которая отображает факторы оказывающее наиболее сильное воздействие на систему. Взаимодействие концентрации и температуры на диаграмме показывает наибольшее влияние на всю систему в целом. Плотность растворов NaCl при различной температуре.

Рассчитаем индивидуально значения температуры и плотности.

Определим плотность для концентрации 18,7%

$0,01-10^{\circ}\text{C}$, $X-2,5^{\circ}\text{C}$

$X=0,025$, и значение $=1,14-0,0025=1,1375$

$2\%-0,0175$

$0,7\%-x$,

$$x=1,12+0,006125=1,126 \text{ г/см}^3$$

Для дальнейшего расчета нам потребуется перевести концентрацию из %, в моль/л или г-экв/л.

$$V=m_{p-pa} \cdot q$$

$$W=m_{в-ва} \cdot m_{p-pa} \cdot 100\%$$

$$M_{в-ва}=m_{в-ва} \cdot v$$

$$m_{p-pa} (\text{масса } p-pa) = V \cdot q (\text{плотность})$$

$$m_{в-ва} = w \cdot m_{p-pa} = w \cdot V \cdot q \text{ далее количество вещества}$$

$$v = m_{\text{вещества}} / M_{\text{(вещества)}} = w \cdot V \cdot q / M$$

$$M_{\text{(вещества)}} \text{NaCl} = 58,5 \text{ г/моль}$$

$$C_m (\text{концентрация молярная}) = v / V_{\text{раствора}} = w \cdot V \cdot q / M \cdot V = w \cdot q / M;$$

Для одновалентных $C_m = C_{\text{эквивалентная}} = C_n$ или $C_m = w \cdot q / M \text{NaCl} \cdot 1000$ (перевод в л):

$$C_l = (0,2 \cdot 1,1375) \cdot 1000 = 3,863 \text{ моль/л или } 3,863 \text{ г-экв/л.}$$

Далее: площадь каждого электрода $= 1 \text{ мм}^2$, расстояние между электродами $= 0,01 \text{ мм}$ (граница деталь-инструмент)

Определяем электропроводность раствора электролита: χ (каппа)-удельная электропроводность, λ (лямбда)-эквивалентная электропроводность.

Удельной электрической проводимостью χ называют электропроводность раствора, находящегося между параллельными электродами площадью 1 м^2 , расположенными на расстоянии 1 м .

Размерность удельной электропроводности $C_m \cdot \text{м}^{-1}$ (СИ) или $C_m \cdot \text{см}^{-1}$ (СГС), где $1 C_m = 10 \text{ Ом}^{-1}$. Физический смысл удельной электропроводности – электропроводность единицы объема.

Удельная электропроводность обратно пропорциональна удельному сопротивлению: $\chi = 1/\rho = 1/R \cdot 1/S$;

S , (1) где ρ – удельное сопротивление проводника; R – сопротивление проводника; l – длина проводника; S – площадь поперечного сечения

Эквивалентная электропроводность λ определяется как электропроводность объема раствора, в котором содержится 1 кг-экв растворенного вещества, помещенного между двумя параллельными электродами на расстоянии 1 м друг от друга с бесконечно большой площадью. Таким образом, между электродами при любой концентрации раствора находится 1 кг-экв растворенного вещества, поэтому изменение эквивалентной электропроводности при изменении концентрации раствора обусловлено изменением степени диссоциации (для слабых электролитов) или межмолекулярными взаимодействиями (для сильных электролитов).

Эквивалентная электропроводность определяется по уравнению: $\lambda = \chi \cdot V = \chi / \text{См}$, где V – разведение, т.е. объем, в котором содержится 1 кг-экв растворенного вещества; См – эквивалентная концентрация (нормальная) раствора.

$J(\text{сила тока}) = U/R$ (напряжение \(\backslash\) сопротивление), Электропроводимость $L = I/R$ (обратно пропорциональна сопротивлению раствора) $R = U/J$, тогда при $U = 12,5 \text{ В}$ Рассчитываем удельную электропроводимость (каппа) χ :

$$L = I/R = I/p \cdot S/l = \chi S/l$$

$$L = \chi S/l \text{ тогда } \chi = L \cdot l/S$$

$$L_{1-4} = I/R = J/U = 0,3/12,5 = 0,024 \text{ Ом}^{-1}$$

$$L_{5-9} = 0,1/12,5 = 0,008 \text{ Ом}^{-1}$$

$$\chi I = 0,024 \cdot 0,01/l = 0,024 \cdot 0,00001 \text{ м} / 0,000001 \text{ м}^2 = 0,24 \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$$

Рассчитываем для опытов эквивалентную электропроводимость (лямбда) λ :

$$\lambda I = \chi / \text{Сн} \cdot 1000 = 0,24 / 3,863 \cdot 1000 = 0,000062 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2$$

$$\cdot z\text{-экв}^{-1} = 0,062 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot z\text{-экв}^{-1} = 0,62 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot z\text{-экв}^{-1}$$

Таблица полученных результатов:

Таблица 1 - Результаты расчетов

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$^{\circ}\text{C}$	50	20	50	20	50	20	50	20	42,5
χ	0,24	0,24	0,08	0,08	0,24	0,24	0,08	0,08	0,08
λ	$0,06 \cdot 10^{-3}$	$0,06 \cdot 10^{-3}$	$0,02 \cdot 10^{-3}$	$0,02 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$0,05 \cdot 10^{-3}$	$0,05 \cdot 10^{-3}$	$0,02 \cdot 10^{-3}$

После расчетов были проведены 8 опытов с тремя изменяемыми параметрами: температура, плотность тока, концентрация электролита. Взаимодействие концентрации и

температуры оказывают наибольшее влияние на процесс формирования шероховатости.

Таблица 2 - Данные опытов

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура электролита, $^{\circ}\text{C}$	50	20	50	20	50	20	50	20
Концентрация NaCl, %	20	20	20	20	0,9	0,9	0,9	0,9
Плотность раствора $\text{г}/\text{см}^3$	1,13	1,15	1,13	1,15	0,99	1,00	0,99	1,00
Сила тока, А ($\text{а}/\text{мм}^2$)	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0,1

Таблица 3 - Полученная шероховатость

№	1	2	3	4	5	6	7	8
Шероховатость	0,475	2,9	1,65	2,04	2,01	0,658	1,424	1,72

При снижении температуры электролита на основе NaCl с 50°C до 20°C происходит снижение электропроводности в $\sim 1,6$ раз, уменьшение концентрации вдвое приводит к ухудшению шероховатости в ~ 2 раза. см таб. [1,2,3]

Выводы:

1. Проводимость электролита χ (См / м) обратно пропорциональна его удельному сопротивлению и зависит от температуры раствора электролита: $\chi = 1/\rho = 1/R \cdot 1/S$.

2. Удельная электрическая проводимость растворов электролитов зависит от температуры. Повышение температуры увеличивает электропроводность растворов электролитов, так как скорость ионов растет. Для солей в водных растворах $\Delta t \approx 0,02$, т. е. повышение температуры на 1°C приводит к увеличению электропроводности примерно на 2 %.

Список литературы

- Борисов М.А., Лобанов Д.В., Янющкин А.С., Скиба В.Ю. Исследование процесса автоматического управления сменой полярности тока в условиях гибридной технологии электрохимической обработки коррозионностойких сталей. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 1. С. 6-15.
- Борисов М.А., Мишин В.А. Влияние продолжительности импульсов тока на интенсивность электрохимического шлифования // Актуальные проблемы в машиностроении Т. 6, №1-4, 2019, С. 48-52
- Борисов М.А., Мишин В.А. Управление процессом электрохимического шлифования при отсутствии автономной цепи правки инструмента: монография / М.А. Борисов, В.А. Мишин. – Чебоксары: Политех, 2019. – 134 с.
- Д.В.Лобанов, М.А.Борисов, А.С.Янющкин, В.Ю.Скиба. Ways to implement hybrid finishing technology with a hand-held rotary tool. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 709 (2020) 044075 doi:10.1088/1757-899X/709/4/044075
- Мирзоев Р.А., Давыдов А.Д. Анодные процессы электрохимической и химической обработки металлов: Учебное пособие – 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 384 с
- 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 Новомосковского института РХТУ им. Д.И. Менделеева. Новомосковск, 2019. С. 54-58.
- Зворыгин А.С., Борисов М.А., Рафанова О.С. «Стенд для исследования процесса электрохимического шлифования». В сборнике: Современные технологии: проблемы и перспективы. сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных. Севастополь, 2020. С. 64-69.

8. Борисов М.А., Лобанов Д.В., Зворыгин А.С. «Влияние продолжительности импульсов тока на шероховатость при электрохимическом шлифовании коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т» Актуальные проблемы в машиностроении. 2020. Т. 7. № 3-4. С. 18-25.

References

1. Borisov M. A., Lobanov D. V., Yanyushkin A. S., Skiba V. Yu. Investigation of the process of automatic control of the current polarity change in the conditions of hybrid technology of electrochemical processing of corrosion-resistant steels. Metal processing (technology, equipment, tools). 2020. Vol. 22. no. 1. p. 6-15.
2. Borisov M. A., Mishin V. A. Influence of the duration of current pulses on the intensity of electrochemical grinding // Actual Problems in mechanical engineering Vol. 6, no. 1-4, 2019, pp. 48-52
3. Borisov M. A., Mishin V. A. Control of the electrochemical grinding process in the absence of an autonomous tool correction circuit: monograph / M. A. Borisov, V. A. Mishin. - Cheboksary: Polytech, 2019. - 134 p.
4. D. V. Lobanov, M. A. Borisov, A. S. Yanyushkin, V. Yu. Skiba. Ways to implement hybrid finishing technology with a hand-held rotary tool. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 709 (2020) 044075 doi: 10.1088 / 1757-899X/709/4/044075 5 Mirzoev R. A., Davydov A.D. Anodic processes of electrochemical chemistry

УДК 621.01

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ФОРСИРОВКИ ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

М.М.Зорина¹, М.Е.Хвостёнков¹

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», г.Чебоксары, 428015, Россия, zorina-mari2015@mail.ru

Аннотация

Появление четырехтактных двигателей заметно снизило применение двухтактных моторов, но при всех своих достоинствах полностью его вытеснить не смогло. Двухтактный двигатель широко используют в малой авиации, в авиамodelьном спорте, в скутерах и снегоходах. То есть там, где необходим мотор с малыми габаритами. В статье подробно описана работа студента над усовершенствованием двухтактного двигателя. Основной задачей являлось увеличение мощности и крутящего момента двигателя без снижения его ресурса. Этого можно достичь двумя методами. Первый заключается в повышении степени сжатия путем подрезания головки цилиндра и увеличения диаметра диффузора в карбюраторе. Второй – в увеличении диаметра цилиндра, применении более производительного карбюратора и изменении фаз газораспределения. Было принято решение выполнить преобразования, описанные во втором случае.

В статье приведено подробное изложение основных этапов проделанной работы. Были заменены отдельные детали двигателя, внесены некоторые изменения в их конструкцию. В ходе выполнения отдельных операций производился контроль точности. Описание дополняет большое количество фотографий.

По результатам выполненных работ проведены испытательные мероприятия, сделан их анализ, а также, дана оценка полученных результатов.

Ключевые слова: двухтактный двигатель, увеличение мощности, увеличение крутящего момента, лепестковый клапан, впускное окно, выпускное окно.

PRACTICAL EXPERIENCE OF FORCING A TWO-STROKE ENGINE

M. E. Khvostenkov¹, M. M. Zorina¹

¹ FSBEI HE Chuvash State University I.N. Ulianov, Cheboksary, 428015, Russia, zorina-mari2015@mail.ru

Abstract

The advent of four-stroke engines significantly reduced the use of two-stroke engines, but for all its merits, it could not completely displace it. The two-stroke engine is widely used in small aircraft, aircraft modeling sports, scooters and snowmobiles. That is, wherever a small motor is needed. The article describes in detail the student's work on improving the two-stroke engine. The main task was to increase the power and torque of the engine without reducing its resource. There are two ways to achieve this. The first method is to increase the compression ratio by trimming the cylinder head and increase the diameter of the diffuser in the carburetor. The second is to increase the cylinder diameter, use a more efficient carburetor and change the valve timing. It was decided to carry out the transformations described in the second case.

A detailed description of the main stages of the work done is given. Some engine parts were replaced; some changes were made to their design. During the execution of individual operations, the accuracy was monitored. The description complements a large number of photographs.

Based on the results of the work performed, test activities were carried out, their analysis was made, and an assessment of the results obtained was given.

Keywords: two-stroke engine, power increase, torque increase, petal valve, intake port, exhaust port.

Двухтактные двигатели внутреннего сгорания постепенно уходят в прошлое. В настоящее время их применение ограничено. Но, в таких направлениях, как, например, авиамодельный спорт, малая авиация, производство снегоходов и скутеров, когда необходим мотор с малыми габаритными размерами, предпочтение отдаётся двухтактным. В прошлом этот конструктивно простой и неприхотливый двигатель пользовался большой популярностью. Отсутствие отдельного газораспределительного механизма и относительно высокая мощность при сравнительно малом объеме двигателя делали его незаменимым в отечественном и зарубежном мотопроизводстве 70-80 годов прошлого века. В настоящее время эти агрегаты можно увидеть лишь в некоторых моделях спортивных мотоциклов.

Среди причин снижения спроса на двухтактные двигатели можно назвать ужесточившиеся нормы экологии и постоянно растущую борьбу за топливную эффективность. В реалиях современного мира с постоянно увеличивающимися ценами на топливо гораздо более рациональным является использование четырехтактных агрегатов, но, полностью отказываться от двухтактного мотора нельзя.

Руководствуясь этим и имея в наличии старый мотоцикл Иж Планета Спорт (рис.1), находящийся в рабочем состоянии, мы поставили перед собой задачу попытаться изменить характеристики двигателя.



Рис.1. Мотоцикл Иж Планета.

Импульсом послужило желание продолжить эксплуатацию транспортного средства, приспособив его к современным требованиям дорожного движения, так как в

нынешнем состоянии для поездок по трассе, где средняя скорость приближается к 100 км/ч, мотоцикл оказался не пригоден.

В первую очередь были определены основные цели усовершенствования двигателя: увеличение мощности и крутящего момента двигателя без снижения его ресурса. Для достижения заданных целей были рассмотрены методы изменения агрегата.

Один из них - увеличение степени сжатия путем подрезания головки цилиндра для возможности применения более высокооктанового бензина, а также увеличение диаметра диффузора в карбюраторе с целью повышения мощности и перемещения значений крутящего момента на большие. Этот метод распространён, многими испробован на практике и эффект от него предсказуем.

Второй метод - увеличение диаметра цилиндра путем установки поршня от другого мотоцикла, применение более производительного карбюратора и изменение фаз газораспределения с размещением самодельного лепесткового клапана. Именно эти преобразования было решено взять за основу.

Итак, исходные характеристики двигателя мотоцикла Иж Планета 5 (рис.2):

Мощность двигателя – 22 л.с. при 4800 об/мин

Крутящий момент – 29 Н·м при 4200 об/мин

Диаметр цилиндра – 72 мм

Ход поршня – 85 мм

Тип продувки – петлевая, с двумя продувочными каналами по бокам цилиндра

Степень сжатия – 8,7:1



Рис.2. Двигатель мотоцикла Иж Планета 5.

Первый этап работы - замена имеющегося поршня на поршень большего диаметра.

Наверное, самым очевидным способом улучшения мощностных характеристик двигателя является увеличение его рабочего объема. Таких изменений можно достичь двумя способами: увеличением диаметра цилиндра, либо увеличением хода поршня. И, если второй метод требует довольно сложных манипуляций с коленчатым валом (в контексте данного двигателя – полное изготовление нового коленчатого вала), то первый метод в заданных условиях вполне осуществим.

Для реализации принятых решений понадобится поршень от двухтактного двигателя, имеющий больший диаметр, но примерно такие же геометрические пропорции. Предусмотренное минимальное несовпадение будем устранять правкой и подгонкой окон в цилиндре.

Стандартный поршень имеет диаметр 72 мм (рис. 3), однако толщина стенок цилиндра позволяет установить поршень диаметром до 79мм. Была выбрана «золотая середина», а именно, поршень диаметром 76,5 мм от мотоцикла Иж Планета Спорт (рис 4).



Рис.3. Стандартный поршень.



Рис.4. Увеличенный поршень.

Как было отмечено, выбранный поршень имеет несколько отличные геометрические

пропорции, а именно высоту от оси пальца до его днища и до кромки юбки (конструктивно он короче). Кроме того, отверстие под палец имеет диаметр 18 мм против 15 мм у стандартного. И, если первое обстоятельство исправляется подрезанием торцов цилиндра с обеих сторон на 3 и на 4 мм соответственно, то второе будет устраняться установкой новой, увеличенной втулки верхней головки шатуна, что влечет за собой увеличение диаметра отверстия под втулку и в самом шатуне.

Был приобретен новый шатун и удалена заводская втулка (рис.5), по результатам измерений диаметр отверстия в шатуне под нее составил 17,6 мм. Применяв комплект из регулируемой и стандартной цилиндрической разверток (для чистовой обработки втулки), произвели разворачивание отверстия до диаметра 19 мм. В процессе обработки выявилось обстоятельство, которое привело к затруднению обработки: шатун оказался каленым и пришлось применить отжиг.



Рис.5. Шатун до (слева) и после (справа) разворачивания.

В противовес этому со втулкой сложностей не возникло: идеально подошла деталь с автомобиля Лада Приора. После запрессовки втулка изнутри была «раздавлена» шариком от подшипника, а затем завальцована конусами с обеих сторон.

После чистовой обработки новый поршневой палец был установлен с обеспечением необходимой посадки, не имел люфтов, а проверка соосности нижнего и верхнего пальцев шатуна подтвердила положительный результат операции. Отклонение по всей длине шатуна составляло около 0,02 мм, что в принципе можно не учитывать, так как нижний роликовый подшипник приспособлен для таких условий работы.

Вторым этапом усовершенствования было предусмотрено изготовление лепесткового клапана (рис.6).

Лепестковый клапан – это устройство, пропускающее топливную смесь из области высокого давления в область низкого только под воздействием разрежения в цилиндре, а именно, в момент такта всасывания. В остальное же время он закрыт.



Рис.6. Лепестковый клапан.

Работа двухтактного двигателя без клапана предусматривает выброс части смеси обратно в карбюратор в тот период, когда поршень движется из верхней мертвой точки вниз до момента, когда юбкой поршня закроется впускное окно. Из-за этого часть смеси в кривошипной камере (около 15 процентов) «вылетает» обратно, так и не попав в камеру сгорания. Установка клапана позволяет решить эту проблему. И это далеко не все плюсы наличия лепесткового клапана. С его установкой мы можем существенно увеличить фазу впуска, проточив соответствующим образом впускное окно со смещением вниз.

Эти действия позволяют обеспечить более полное насыщение пространства кривошипной камеры и камеры сгорания топливной смесью на средних и высоких оборотах, при этом существенно увеличиваются мощность и момент. И, что является весьма важным обстоятельством, установка такого устройства может позволить нам усовершенствовать продувку за счет третьего продувочного канала, который будет работать через впускное окно (рис 7).

При перемещении поршня вниз клапан герметично закрыт, следовательно, канал, вертикально поднимающийся от впускного окна и выходящий под углом 135° - 145° относительно плоскости стенки цилиндра, будет прекрасно продувать зону, которую недоступна для двухканальной петлевой продувки, а именно зону камеры сгорания. Предполагаем, что именно это изменение в

конструкции дает самую существенную прибавку крутящего момента на низких и средних оборотах.



Рис.7. Третий продувочный канал.

Что касается корпуса клапана, то было принято решение сделать его из трубного проката квадратного профиля размером 5х5 см. Был вырезан треугольный сегмент, корпус подогнут, а стыковочный шов заварен. К получившейся конструкции приварили два фланца с обоих торцов, во фланцах проделали отверстия для крепления.

Реконструкция самого клапана заняла больше времени и потребовала выполнения большего количества операций, чем предполагалось. При помощи лекал были вырезаны сегменты будущего устройства. С целью усиления конструкции к вершине образовавшегося треугольника приварили прутки. Затем сваркой была присоединена деталь, изготовленная из металлической трубы, предназначенная для соединения клапана с карбюратором. Для изготовления лепестков использовали регулировочные шупы от автомобиля ВАЗ Классика толщиной 0,15 мм (рис 8).



Рис. 8. Будущие лепестки клапана.

В результате выполненных действий получили конструкцию клапана, представленную на рис. 9.



Рис.9. Готовый клапан.

Третьим этапом выполнения работ было предусмотрено изменение фаз газораспределения.

Как отмечалось выше, в двухтактном двигателе отсутствует отдельный механизм газораспределения. Эту роль выполняет поршень и окна в цилиндре (рис.10). И, если в четырехтактном двигателе, при выполнении аналогичных действий нам пришлось бы заменить распределительный вал на новый, то в нашем случае требуется только изменить размер окон. При этом, если необходима более широкая фаза, меняем проточкой расположение окна либо выше, либо ниже. Если хотим увеличить пропускную способность, «расширяем» окно, не изменяя его высоты.

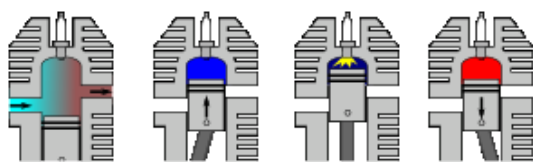


Рис.10. Принцип работы двухтактного двигателя.

Мы ставили задачу сделать характеристики двигателя чуть более высокими, то есть передвинуть планку мощности и момента на 1000-1300 об/мин. И несмотря на то, что в технических характеристиках данного двигателя указано, что максимальные момент и мощность достигаются им в диапазоне 4300-4800 об/мин, его реальные мощностные характеристики по результатам многолетней эксплуатации

находятся в зоне гораздо более низких оборотов. Проверка с применением тахометра подтвердила наши предположения: пик мощности и момента наблюдается в пределах 3000-3500 об/мин., следовательно, направление наших действий верно.

В результате замены поршня оказалось, что в нижней «мертвой» точке он смещается на 7 мм ниже нижней кромки выпускного окна. Принимаем решение опустить нижнюю кромку этого окна на 5 мм. Эта величина выбрана из тех соображений, что при другом значении в верхней мертвой точке поршень «любкой» будет открывать выпускное окно, запуская отработавшие газы в кривошипную камеру, что в нашем случае является нежелательным явлением. Одновременно с этим увеличиваем ширину выпускного окна на 3 мм, что позволит значительно увеличить пропускную способность (рис.11).



Рис. 11. Открытые продувочные окна.

На этом же этапе расширяем продувочные каналы и поднимаем их вверх на 4 мм. Именно эти манипуляции и предполагались в качестве основного способа смещения мощности и момента в верхний диапазон оборотов. Размер каналов существенно увеличиваем с обязательным сохранением формы, так как изменение выхода потоков газа из кривошипа недопустимо. Очень существенным является то, что был проточен третий канал, выходящий из впускного окна (рис.12). Его ширина около сантиметра, а угол выхода относительно плоскости цилиндра около 130°.



Рис. 12. Вспомогательное отверстие в поршне.

Таким образом, мы приблизили конструкцию к эталонной с теоретической точки зрения, так как поток идеально продувает камеру сгорания (рис.13).

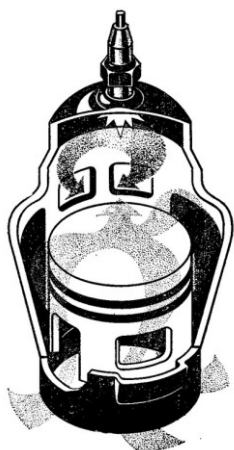


Рис. 13. Теоретическая схема работы трехканальной системы продувки.

Заключительным этапом работы предусмотрена установка карбюратора повышенной производительности.

Изначально был выбран карбюратор с диаметром диффузора в 38 мм (рис.14).



Рис. 14. Карбюратор с диффузором Ø 38 мм.

Но испытания показали, что несмотря на его отличную работу на высоких оборотах, на низких, проявлялась детонация и «провалы» в наборе оборотов. С учетом этого было принято решение заменить карбюратор и использовать конструкцию Ø 32 мм (рис.15). После регулировки и настройки с подбором жиклеров (главный - 135, холостого хода - 40) мотоцикл осуществлял работу в оптимальном режиме. Удовлетворительная тяга на низких оборотах, хорошая мощность на верхних. То есть были получены оптимальные результаты.



Рис. 15. Карбюратор с диффузором Ø 32мм.

На основании испытаний, проведенных после усовершенствования двигателя, сделан вывод об успешности эксперимента. Все механизмы работают безотказно, и, главное, существенно улучшились характеристики двигателя. Он моментально откликается на ручку газа, при этом расхода топлива не прибавилось. Кроме указанных изменений была заменена ведущая звезда на большую, что в результате привело к стабильности скорости в диапазоне 100 км/час на 20-30%. Динамика улучшилась настолько, что мотоцикл разгоняется до 100 км/ч за 7,5-8 секунд, что до процесса усовершенствования казалось недостижимым. Существенно возросли показатели крутящего момента, в том числе и в процессе эксплуатации коляски и при загрузке двумя пассажирами.

Кроме прочих положительных результатов повысилась ресурсность проведенных изменений. В очередной раз проводя техосмотр и разобрав поршневую группу двигателя для проверки ее состояния были получены ошеломительные результаты. С учетом того, что мотоцикл после изменений имеет пробег 3500 км, двигатель и его детали, подвергнутые усовершенствованию, находятся в хорошем состоянии. Это относится и к лепестковому клапану, поскольку наибольшие опасения вызывала износостойкость

лепестков. Однако, осмотр их состояния показал, что эти детали не претерпели изменений, на поверхностях отсутствуют следы износа и деформации.

Положительными оказались и испытания с применением тахометра. Диапазон мощности и момента сместился в пределы 4000-4500 об/мин. В совокупности достигнутые показатели изменили характеристики и эксплуатационные возможности мотоцикла.



Рис. 16. Итоговый вид двигателя.

Можно сделать заключение, что принятые нами решения и проведенные изменения в конструкции двухтактного двигателя позволили получить отличные результаты.

Список литературы

1. Лодня В.А. Создание системы непосредственного впрыскивания бензина для двухтактного малогабаритного двигателя производства ГЗПД / Техн. ВУЗы республике: Матер, межд. 52 научн.-техн. конф. - Минск, 1997. - С.56.
2. Грабарчук И.Ю., Каражанов Т.У., Кочегарова Н.А. [Морские дизельные двигатели насколько эффективным может быть двухтактный двигатель](#) / [Международный научно-исследовательский журнал](#). - 2013. - № 6-1 (13). - С. 52-54.
3. Девянин С.Н., Лодня В.А. Система непосредственного впрыскивания для двухтактного двигателя внутреннего сгорания мощностью 6 кВт. Девянин С.Н., Лодня В.А. // С.-х. тракторы и автотракт. двигатели.-М., 2000. - С. 62-68.
4. Гололобов Е.И., Плешаков А.А., Пудовеев В.И. Экономичность двигателей мотороллеров и мотоциклов. Тула: Приокское изд-во, 1989. - 174 с.

References

1. Lodnya V.A. Creation of a gasoline direct injection system for a two-stroke small-sized engine produced by GZPD / / Tech. Universities of the Republic: Mater, Int. 52 scientific and technical conf. - Minsk, 1997, p. 56.
2. Grabarchuk I.Yu., Karazhanov T.U., Kochegarova N.A. Marine diesel engines how efficient can a two-stroke engine be /International research journal. – 2013, No. 6-1 (13), pp. 52-54.
3. Devyanin S.N., Lodnya V.A. Direct injection system for a 6 kW two-stroke internal combustion engine. Devyanin S.N., Lodnya V.A. // S.-x. tractors and auto road. engines.- Moscow, 2000, pp. 62-68.
4. Gololobov E.I., Pleshakov A.A., Pudovcev V.I. Efficiency of scooter and motorcycle engines. Tula: Priokskoe publishing house, 1989. - 174 p.

УДК 621.742.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОДИФИКАТОРА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ВЫБИВАЕМОСТИ ЖИДКОСТЕКОВЫХ СМЕСЕЙ

Иванова Л.А.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» Московский проспект, 15
г.Чебоксары, Российская Федерация, 428015, e-mail: i-luda13@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются вопросы применения жидкостекловых смесей в литейном производстве. Приводятся достоинства и недостатки формовочных и стержневых смесей с использованием жидкостекловых связующих. Приведен анализ влияния модифицирующих добавок органического и неорганического происхождения на остаточную прочность форм и стержней из жидкостекловых смесей. Выявлено влияние поверхностно-активных веществ на технологические и служебные свойства жидкостекловых смесей. Предложен комплексный модификатор на основе полифосфата натрия, лаурилсульфата натрия и глицерина для снижения остаточной прочности форм и стержней, и улучшения

выбиваемости смесей на жидком стекле. Представлен механизм воздействия модифицирующих добавок на свойства жидкостекольной смеси и обоснован принцип выбора органических ПАВ на основе влияния молекулярных весов, температур воспламенения и энтальпий сгорания на количество выделяющихся газов и сажистого углерода, образующихся в результате термодеструкции данных веществ, и остающихся в объеме жидкостекольных смесей, на остаточную прочность и выбиваемость. На основе комплексного модификатора предложен оптимальный состав формовочной и стержневой смеси, удовлетворяющей всем требованиям, предъявляемым к стержням и формам, а также способной заменить существующие смеси на прочих неорганических и органических связующих.

Ключевые слова: жидкое стекло, стержневая смесь, формовочная смесь, жидкостекольная смесь, выбиваемость, остаточная прочность, модифицирующие добавки, комплексный модификатор

USE OF A COMPLEX MODIFIER TO IMPROVE KNOCKOUT OF LIQUID GLASS MIXTURES

Ivanova L.A.

FSBEI HE "Chuvash State University Moskovsky av., 15 Cheboksary, Russian Federation, 428015,
e-mail: i-luda13@mail.ru

Abstract

This article discusses the use of liquid glass mixtures in foundry. The advantages and disadvantages of molding and core sands using liquid glass binders are presented. The analysis of the influence of modifying additives of organic and inorganic origin on the residual strength of molds and rods made of liquid glass mixtures is presented. The influence of surfactants on the technological and service properties of liquid glass mixtures is revealed. A complex modifier based on sodium polyphosphate, sodium lauryl sulfate and glycerin is proposed to reduce the residual strength of molds and cores and improve the knockout of mixtures on liquid glass. The mechanism of the effect of modifying additives on the properties of the liquid-glass mixture is presented and the principle of choosing organic surfactants based on the influence of molecular weights, ignition temperatures and enthalpies of combustion on the amount of evolved gases and soot carbon formed as a result of the thermal destruction of these substances and remaining in the volume of liquid-glass mixtures on the residual strength and knockout. On the basis of a complex modifier, an optimal composition of a molding and core mixture has been proposed, which meets all the requirements for cores and molds, and is also capable of replacing existing mixtures with other inorganic and organic binders.

Keywords: liquid glass, rod mix, mixture for casting molds, liquid glass mixture, knockout, residual strength, modifying additives, complex modifier.

1. Введение

В современном литейном производстве формовочные и стержневые смеси на основе жидкого стекла широко применяются для изготовления отливок из различных сплавов. Данные смеси имеют целый ряд достоинств: они нетоксичны, недефицитны, имеют низкую стоимость, обладают хорошими показателями по прочности, могут отверждаться различными способами. Важным достоинством жидкого стекла, как связующего, является возможность его приготовления непосредственно в цеховых условиях, при этом появляется возможность регулирования его свойств. Вместе с тем жидкостекольные смеси не лишены недостатков. Специфической особенностью жидкостекольных смесей является высокая остаточная прочность (прочность после прогрева смеси, связанного с воздействием заливаемого металла на формовочные и стержневые смеси) и, как следствие,

затрудненная выбиваемость из отливок после охлаждения

Кроме этого, смеси на основе жидкого стекла характеризуются плохой регенерируемостью отработанного песка. Все это стало причиной снижения объемов применения жидкого стекла в качестве связующего и вытеснением из производства в связи с широким применением холоднотвердеющих смесей на основе синтетических смол [1].

2. Основной материал

Остаточная прочность формовочной и стержневой смеси после нагрева и охлаждения характеризует ее выбиваемость. Определение остаточной прочности при сжатии или разрыве осуществляется на стандартных образцах, которые предварительно нагревают в печи до заданной температуры, выдерживают и охлаждают вместе с печью. Принято считать, что при значениях остаточной прочности менее

1,5-2,0 МПа смесь выбивается удовлетворительно, при значениях остаточной прочности более 3,0 МПа смесь выбивается плохо [2].

Для решения проблемы затрудненной выбиваемости жидкостекольных смесей применяют введение модифицирующих добавок. Под модифицированием жидкого стекла понимается воздействие на его структуру и свойства путем введения в щелочные силикатные растворы добавок - модификаторов. При этом процесс модифицирования должен обеспечить улучшение поверхностных свойств связующего, повышение когезии и снижение внутренних напряжений после отверждения, а также уменьшение остаточной прочности после термообработки. Наличие требуемого комплекса свойств связующего позволяет получать высокопрочные легковыбиваемые формовочные и стержневые смеси.

Известные методы модифицирования жидкого стекла основаны, как правило, на введении модификаторов непосредственно в жидкое стекло. Однако для этого связующего материала, представляющего собой концентрированный водный раствор щелочи и частично гидролизованного силиката натрия различной степени конденсации, характерны высокая ионная сила раствора и, как следствие, высаливающий эффект. В связи с этим, известные в литейном производстве полимерные добавки - модификаторы, имеющие обычно значительно более низкую степень гидратации по сравнению со структурными составляющими жидкого стекла, вследствие высаливания не способны образовывать устойчивый стабильный раствор связующего. Если же добавка - модификатор обладает более высокой по сравнению со структурными элементами жидкого стекла степенью гидратации, то их введение в жидкое стекло вызывает перераспределение сольватной воды, что способствует полимеризации силикат-ионов, коагуляции и резкому снижению живучести связующего материала [3]. Поэтому важным направлением улучшения физико-механических свойств жидкостекольных смесей является их модифицирование органическими и неорганическими веществами, которые изменяют поверхностное натяжение, краевой угол смачивания и вязкость жидкого стекла.

Существует большое количество модифицирующих добавок для улучшения тех или иных свойств жидкостекольных смесей, прочность которых в большей степени зависит от прочности силикагеля. Силикагель

представляет собой гигантскую макромолекулу, кремнекислородный каркас которой состоит из аморфных шарообразных частиц (глобул), соединяющихся связями, которые образуются при поликонденсации кремниевой кислоты.

Следовательно, для изменения или регулирования технологических свойств жидкостекольной смеси необходимо внести в каркас глобул инородные частицы вещества (модификатора), которые изменят их [4].

В настоящей работе предлагается вводить в состав жидкостекольной смеси комплексный модификатор, представляющий собой комбинацию органических и неорганических соединений для снижения остаточной прочности смеси и, следовательно, улучшить выбиваемость смеси.

Был проведен анализ известных литературных данных [5, 6, 7] и результатов собственных научных исследований по подбору модификаторов к жидкому стеклу. В результате проведен цикл испытаний, в котором были исследованы все классы органических и неорганических соединений. В результате проведенных исследований выбор был остановлен на комбинации органических и неорганических соединений - комплексном модификаторе, улучшающем весь комплекс свойств формовочных и стержневых смесей на основе жидкого стекла.

В качестве модификаторов были предложены следующие органические соединения: лаурилсульфат натрия ($C_{12}H_{25}SO_4Na$), глицерин $C_3H_5(OH)_3$ - трехосновной спирт с низким молекулярным весом и в качестве ПАВ неорганического происхождения использовали полифосфат натрия, который с жидким стеклом при высоких температурах способен образовывать силикофосфатные стекла, отличающиеся своими характеристиками от силикатных стекол. Известно, что при нагреве этой смеси до $\geq 900^\circ C$, когда ЖС и добавка полифосфата натрия находятся в расплавленном состоянии, становится возможным образование силикофосфатного стекла в результате частичной замены группы $[SiO_4]^{4-}$ на группу $[PO_4]^{3-}$. В структуре силикофосфатного стекла в присутствии полифосфата натрия образуется сетка включений фосфор-кислородного тетраэдра, в котором в отличие от SiO_4 , имеется не четыре, а три мостиковых атома кислорода, так как один из кислородных атомов не может участвовать в образовании связи с другими компонентами структуры из-за наличия двойной связи фосфор-кислород. Это увеличивает число

не мостиковых атомов кислорода, и наряду с меньшими энергиями связи P-O (~360 кДж/моль) по сравнению со связью Si-O (~460 кДж/моль), приводит к снижению плотности, прочности и легкоплавкости силикофосфатных стекол, при содержании $P_2O_5 > 1$ моль %. Температура начала появления «твердой фазы» силикофосфатного стекла при остывании расплава находится в интервале 495-560°C, что на 200-300°C ниже температур застывания кремнеземистого стекла [8].

Принципом выбора данных органических ПАВ было стремление соотнести влияние молекулярных весов, температур воспламенения и энтальпий сгорания на количество выделяющихся газов и сажистого углерода, образующихся в результате термодеструкции данных веществ, и остающихся в объеме ЖСС, на остаточную прочность и работу выбиваемости. Одновременно учитывалось, что используемые модификаторы являются относительно недорогими и не оказывают вредного воздействия на окружающую среду и организм человека, так как используются в составах моющих средств и в косметике [9].

Прочность жидкостекольных форм при высоких температурах обусловлена природой неорганического связующего и зависит, в основном, от его содержания в смеси, способа отверждения и степени спекания при нагреве. Поэтому в исследуемые смеси жидкое стекло вводилось в количестве 3,5 % (мас.) Песок марки 1K₂O₃03 применялся в смеси с глиной огнеупорной 99 % (мас.) и 1 % (мас.) соответственно. Модифицирующая добавка вводилась в смесь в общем количестве 0,6% (мас.). Стандартные образцы подвергали низкотемпературному твердению, после чего нагревали в печи до 1000°C и при этой температуре выдерживали в течение 1 ч, далее вместе с печью медленно охлаждали до комнатных температур и измеряли остаточную прочность при сжатии и работу выбивки. Работу выбивки определяли косвенным методом при испытаниях на лабораторном копре с помощью специального пробойника.

Принятая методика определения контролируемых параметров позволяет максимально приблизить условия работы стержня к реальным условиям формирования отливки и определить уровень трудоемкости удаления стержней из отливок после их охлаждения.

Высокотемпературное воздействие на ЖСС, моделирующее условия заливки в форму жидкого металла вплоть до охлаждения формы,

кардинально меняет механизмы процессов, отвечающих за формирование прочностных характеристик по сравнению с отверждением на воздухе и при сушке смесей. [9].

Предложенный состав модифицирующей добавки позволяет улучшить выбиваемость и снизить остаточную прочность в различных интервалах температур. Сравнительные данные остаточной прочности образцов из различных смесей при различных температурах нагрева представлены в таблице 1.

На рис.1 приведены остаточные прочности различных смесей на основе жидкого стекла при 600, 800 и 1000°C. На рис.2 показаны соотношения прочностей отвержденных образцов и их выбиваемость для тех же составов жидкостекольных смесей.

Таблица 1 Остаточная прочность образцов из различных жидкостекольных смесей

№ п/п	Наименование смеси (состав в м.ч.)	Остаточная прочность ($\sigma_{сж}$, МПа) при различных температурах, °C		
		600	800	1000
1.	ЖС – 6,0 (M=2,4), продувка CO ₂	2,5	13,0	8,8
2.	ЖС – 4,0 (M=2,4), отв. сложный эфир	1,2	9,9	6,2
3.	ЖСС: ЖС – 6,0 (M=2,7), феррошлак – 5,0	1,1	4,3	2,8
4.	ЖСС: ЖС – 3,5 (M=2,1), глина – 1%, комплексный модификатор 0,6%	0,8	0,4	1,1

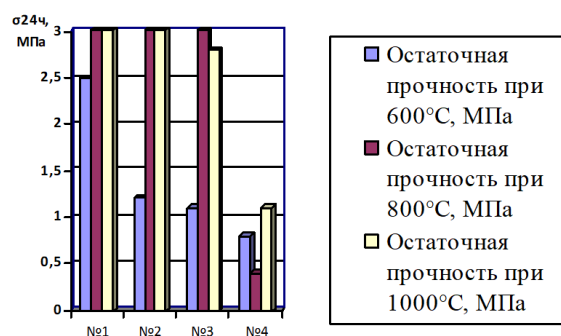


Рис.1. Остаточные прочности при различных температурах нагрева жидкостекольных смесей: №1 – жидкостекольная смесь с продувкой CO₂ 120 с; №2 – жидкостекольная отвердитель – сложный эфир, №3 – жидкостекольная ЖС – 6,0, отвердитель – феррошлак – 5,0, №4 – жидкостекольная ЖС – 3,5 с комплексным модификатором

Оптимальные результаты в широком диапазоне температур показала смесь №4 на основе жидкого стекла (модуль M=2,1) и комплексного модификатора. Важным дополнением является то, что данная смесь является холоднотвердеющей, а значит,

позволяет исключить технологическую операцию сушки форм и стержней. Формы и стержни из указанной смеси быстро набирают необходимую прочность и при хранении долго ее сохраняют, они неподвержены влиянию влажности окружающей среды и смесь имеет достаточную живучесть [10].

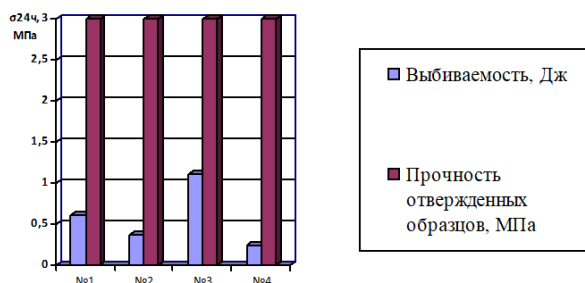


Рис.2. Прочность отвержденных образцов и выбываемость для различных составов жидкостеклянных смесей

Список литературы

1. Кукарцев В.А. Жидкостеклянные смеси и современные отвердители// Литейщик России. – 2013. - №10. – С.46-48.
2. Жуковский С.С. Холоднотвердеющие связующие и смеси для литейных стержней и форм: справочник. – М.: Машиностроение, 2010. – 256с.
3. Кукуй Д. М. Теория и технология литейного производства: учебник/ Д.М. Кукуй, В.А. Скворцов, Н.В. Андрианов в 2 ч. - Москва, Минск: Инфра-М, Новое знание, 2013. - 383 с.
4. Маслов К.А., Леушин И.О., Миронычев А.Е. Пути повышения технологичности жидкостеклянных смесей// Заготовительные производства в машиностроении. – 2010. – №2. С.8-11.
5. Технология литейного производства: Формовочные и стержневые смеси// Под ред. С.С. Жуковского, А.Н. Болдина, А.И. Яковлева, А.Н. Поддубного, В.Л. Крохоткина: учеб. пособие для вузов. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2002. – 470с.
6. Иванова Л.А., Чернышов Е.А., Кузнецов С.А. Влияние комплексного модификатора на остаточную прочность жидкостеклянных смесей// Литейное производство. – 2016. - №11. С.16-18.
7. Иванова Л.А., Чернышов Е.А., Кузнецов С.А., Наумов В.И. Улучшение выбываемости стержней за счет модифицирования жидкостеклянного связующего// Труды XIII съезда литейщиков России. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2015, с.362-364
8. Иванова Л.А., Кузнецов С.А. Изменение зависимости прочности жидкостеклянных стержней за счет введения инновационного модификатора// Сборник докладов Восьмой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов «Будущее машиностроения России -2015». – 2015. С.154-156.
9. Иванова Л.А. Влияние поверхностно-активных веществ на остаточную прочность и выбываемость жидкостеклянных смесей/ Л.А. Иванова, В.И. Наумов, Е.А. Чернышов, С.А. Кузнецов// Литейщик России. - 2015. - № 6. - С. 36-39.
10. Патент № 2688322. Жидкостеклянная смесь для изготовления форм и стержней и способ ее приготовления. Иванова Л.А., Кузнецов С.А., Чернышов Е.А. Заявка № 2017146244. Приоритет изобретения 27 декабря 2017 г. Зарегистрирован 21.05.2019.

References

1. Kukartsev V.A. Liquid glass mixtures and modern hardeners // Foundry of Russia. - 2013. - No. 10. - pp.46-48.
2. Zhukovsky S.S. Cold-hardening binders and mixtures for casting cores and molds: a reference book. - M.: Mechanical Engineering, 2010. —256p.
3. Kukui D. M. Theory and technology of foundry production: textbook / D.M. Kukui, V.A. Skvortsov, N.V. Andrianov in 2 hours - Moscow, Minsk: Infra-M, New Knowledge, 2013. --- 383 p.
4. Maslov K.A., Leushin I.O., Mironychev A.E. Ways to improve the manufacturability of liquid-glass mixtures // Procurement production in mechanical engineering. - 2010. - No. 2. pp.8-11.
5. Technology of foundry production: molding and core mixtures // Ed. S.S. Zhukovsky, A.N. Boldin, A.I. Yakovleva, A.N. Poddubny, V.L. Krokhotkina: textbook. manual for universities. - Bryansk: Publishing house of BSTU, 2002. - 470 p.
6. Ivanova L.A., Chernyshov E.A., Kuznetsov S.A. Influence of a complex modifier on the residual strength of liquid glass mixtures. Foundry. - 2016. - No. 11. pp.16-18.

Таким образом, модифицирование жидкостеклянной смеси комплексным модификатором позволяет использовать ее для изготовления литейных форм и стержней, отверждаемых на воздухе и обладающих исключительными технологическими и служебными свойствами, позволяющие снизить трудоемкость технологического процесса и последующую регенерацию смеси. Жидкостеклянная смесь с комплексным модификатором представляет собой приемлемую бюджетную и экологически безопасную замену формовочным и стержневым составам, применяемым в настоящее время в литейном производстве при производстве форм и стержней при литье черных и цветных металлов.

7. Ivanova L.A., Chernyshov E.A., Kuznetsov S.A., Naumov V.I. Improving the knockout of rods by modifying the liquid-glass binder // Proceedings of the XII Congress of Foundry Workers of Russia. NSTU them. R.E. Alekseeva. - N. Novgorod, 2015, pp. 362-364/
8. Ivanova L.A., Kuznetsov S.A. Change in the dependence of the strength of liquid glass rods due to the introduction of an innovative modifier // Collection of reports of the Eighth All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists "The Future of Mechanical Engineering in Russia -2015". - 2015. pp. 154-156.
9. Ivanova L.A. Influence of surfactants on residual strength and knock-out of liquid glass mixtures. Ivanova and V.I. Naumov, E.A. Chernyshov, S.A. Kuznetsov // Foundry of Russia. - 2015. - No. 6. - pp. 36-39.
10. Patent No. 2688322. Liquid glass mixture for the manufacture of molds and cores and a method for its preparation. Ivanova L.A., Kuznetsov S.A., Chernyshov E.A. Application No. 2017146244. Priority of invention on December 27, 2017 Registered on May 21, 2019.

УДК 621

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЕГМЕНТАЦИИ СТРУЖКИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Д.С. Кудров¹ магистрант

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» ул. Спиридона Михайлова, 3,
г.Чебоксары, Российская Федерация, 428015, e-mail: dmitriy.kudrov.96@gmail.com

Аннотация

Анализ образования стружки - один из наиболее известных и информативных методов описания процесса резания. Для анализа непрерывных стружек был разработан ряд общепринятых методов от оптической до электронной микроскопии. Тем не менее, обработка трудных обрабатываемых материалов сопровождается сегментированным стружкообразованием. Характеристики геометрии стружки основаны на анализе поперечного сечения стружки. Точность измерения стружки во многом зависит от выбранного подхода для анализа. Специальная методология автоматического определения интересующих параметров стружки была разработана для извлечения количественных данных стружки и сравнения методов вершин и площадей с экспериментальными данными. Предлагаемая методика ориентирована на автоматическую обработку изображений стружек, определение контура и анализ его геометрии на программе MATLAB MathWorks INC. R2018b. В этой статье исследуется взаимосвязь между различными параметрами различных форм сегментов стружки, представлен оригинальный алгоритм, основанный на обработке изображений сегментированной, который количественно определяет степень сжатия стружки, размеры сегментов, частоту сегментации и т.д. Алгоритм был проверен при анализе поперечных сечений стружки для случаев ортогонального точения нержавеющей стали 316L и Inconel 718.

Ключевые слова: стружка, сегмент, стружкообразование, механическая обработка, автоматизированная обработка изображений, сжатие, сегментация, сечения, точение, резание.

QUANTITATIVE ANALYSIS OF CHIP SEGMENTATION IN MACHINING USING AN AUTOMATED IMAGE PROCESSING METHOD

D.S. Kudrov¹ master student

¹FSBEI HE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanov", st. Spiridona Mikhailova, 3, Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: dmitriy.kudrov.96@gmail.com

Abstract

Chip formation analysis is one of the most established and informative methods for description of the cutting process. A number of established techniques ranging from optical to electron microscopy have been developed for analysis of continuous chips. Yet, machining of difficult-to-cut materials is accompanied by segmented chip formation. Chip geometry characteristics are based on chip cross-sectional analysis. The accuracy of the chip measurement largely depends on the approach chosen for the analysis. A special methodology for automatically determining the chip parameters of interest has been developed to extract quantitative chip data and compare the tip and area methods with experimental data. The proposed methodology is focused on automatic processing of chip images, definition of the contour and analysis of its geometry using the MATLAB MathWorks INC program. R2018b. This paper investigates the relationship between different parameters of different shapes of chip segments and presents an original algorithm

based on image processing of segmented chips that quantifies chip compression ratio, dimensions of segment, segmentation frequency, etc. The algorithm was validated when analyzing chip cross-sections for the cases of orthogonal turning of stainless steel 316L and Inconel 718.

Keywords: chips, segment, chip formation, machining, automated image processing, compression, segmentation, sections, turning, cutting

Стружкообразование - одна из наиболее важных характеристик процесса резания. Для анализа непрерывных стружек был разработан ряд общепринятых методов, от оптической до электронной микроскопии. Анализ параметров стружки позволяет получить более фундаментальные знания о деформации материала, силах резания, тепловых явлениях и других явлениях обработки. Тем не менее, обработка труднообрабатываемых материалов сопровождается сегментированным стружкообразованием, при котором простые параметры анализа непрерывной стружки не могут использоваться напрямую. Из-за этого геометрические параметры отдельных сегментов стружки и их усредненные данные для стружки в целом очень важны для понимания процесса резания. Различные характеристики процесса, такие как степень сжатия чипа hh и частота сегментации чипа fs , основаны на геометрии сегмента стружки и необходимы для многоуровневого анализа процесса резания [1, 4].

Исторически, метод взвешивания стружки, который основан на законе сохранения массы и сравнивает фактический и теоретический вес и длину части стружки [5]. Тем не менее, продольное сечение части стружки является более точным методом и позволяет извлекать конкретные параметры геометрии стружки или сегмента [6].

В данной статье исследуется взаимосвязь между различными параметрами различных форм сегментов стружки, представлен алгоритм обработки изображений поперечного сечения стружки и их последующее высокоточное аналитическое выполнение.

Характеристики геометрии стружки основаны на анализе поперечного сечения стружки. Обычно микросхему монтируют под прямым углом в эпоксидной или акриловой смоле и полируют для получения поперечного сечения. Впоследствии проводится анализ для извлечения таких параметров, как размеры сегмента, фактическая толщина стружки, степень сжатия стружки, частота сегментации и т. д.

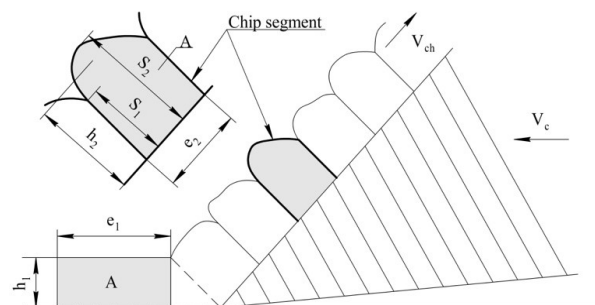


Рис. 1. Процесс сегментации чипа

На основе фактической средней толщины стружки (h_2 , мм) и теоретической толщины стружки (h_1 , мм) степень сжатия стружки определяется как $\lambda_h = h_2/h_1$. Чтобы охарактеризовать частоту сегментации F_s (Гц) [1-3], необходимы дополнительные данные о скорости резания (v_c , м / мин) и средней ширине сегмента стружки (e_2 , мм) (уравнение 1).

$$f_s = \frac{1000 \cdot v_c \cdot h_1}{60 \cdot h_2 \cdot e_2}, \quad (1)$$

Средняя толщина стружки h_2 традиционно измеряется параметрами вершины (S_1 , мм) и впадины (S_2 , мм) для каждого сегмента (Рис.1) [2, 3], как указано в уравнении 2. Этот метод вершин и впадин согласован с геометрическими соотношениями формы стружки. В качестве альтернативы расчет h_2 включает площадь сегментированных стружек (A , мм²) и длину (l , мм) исследуемой части стружки (уравнение 3). При использовании этого метода площади стружки учитываются как геометрические, так и физические аспекты, которые основаны на несжимаемости материалов заготовки, если расширение стружки не используется из-за его незначительного воздействия. Несмотря на более высокую точность метода измерения площади, трудности, связанные с измерением площади, часто усугубляемые неправильной формой и кривизной стружки, затрудняют использование и точность этого метода.

$$h_2^S = \frac{S_1 + S_2}{2}, \quad (2)$$

$$h_2^A = \frac{A}{l}, \quad (3)$$

Эти два разных подхода не ограничиваются только сегментированной стружкой и могут использоваться для всех типов стружки. В случае непрерывной стружки (рис. 2а) методы площади и вершины равны. В случае сегментированной стружки с

треугольной формой сегмента (рис. 2б) средняя толщина стружки h_2^S также равна h_2^A . Это справедливо независимо от наклона треугольников при сохранении соответствующих областей, как показано в позициях 1-5 на рис. 2б. Представляя область А с прямоугольной A_1 и треугольной A_2 площадями, можно доказать равенство $h_2^S = h_2^A$, уравнение 4. Геометрически это можно объяснить компромиссом пустой области ниже средней линии h_2^S с площадью стружки выше средней линии h_2^S (рис. 2б).

$$h_2^A = \frac{A}{e_2} = \frac{A_1 + A_2}{e_2} = \frac{1}{e_2} * \left(S_1 * e_2 + \frac{1}{2} * (S_2 - S_1) * e_2 \right) = \frac{1}{2 * e_2} * e_2 * (S_1 + S_2) = \frac{S_1 + S_2}{2} = h_2^S, \quad (4)$$

Однако форма сегмента, встречающаяся на практике, отличается от идеальной треугольной формы и обычно имеет изогнутую одну из сторон (рис. 2с). Для такой нелинейной формы сегмента механизм компенсации не работает. Площадь стружки над средней линией h_2^S больше, чем пустая область под ней. В этом случае метод вершины измерения h_2^S занижает физически обоснованное значение h_2^A . Расхождение между методами достигает максимума для стружки с полукруглой формой зуба (рис. 2г) и составляет ошибку 16,6% по значению h_2^{A**} . Для более реалистичной формы зуба, сочетающей четверть круга с линейными сторонами (рис. 2в), ошибка метода вершины h_2^S составляет около 8,3% по сравнению со значением h_2^{A*} . В целом, поддерживается состояние $A_2 < A_2^* < A_2^{**}$.

Таким образом, можно сделать вывод, что погрешность, создаваемая методом вершины h_2 , находится в диапазоне от 0% до 16,6% в зависимости от изменения формы зуба от гильзы к изогнутой. Следовательно, можно охарактеризовать степень нелинейности формы зубьев стружки, исходя из теоретических пределов погрешности.

Список литературы

1. Hrechuk A. et al. Quantitative analysis of chip segmentation in machining using an automated image processing method // *Procedia CIRP* 82 (2019) 314–319
2. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
3. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
4. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.

Предложен критерий коэффициента формы SF (%) (уравнение 5), который оценивает степень отклонения формы зуба от линейной. Рейтинг определяется отношением ошибки к ее максимальному значению 16,6% и изменяется от 0% до 100%.

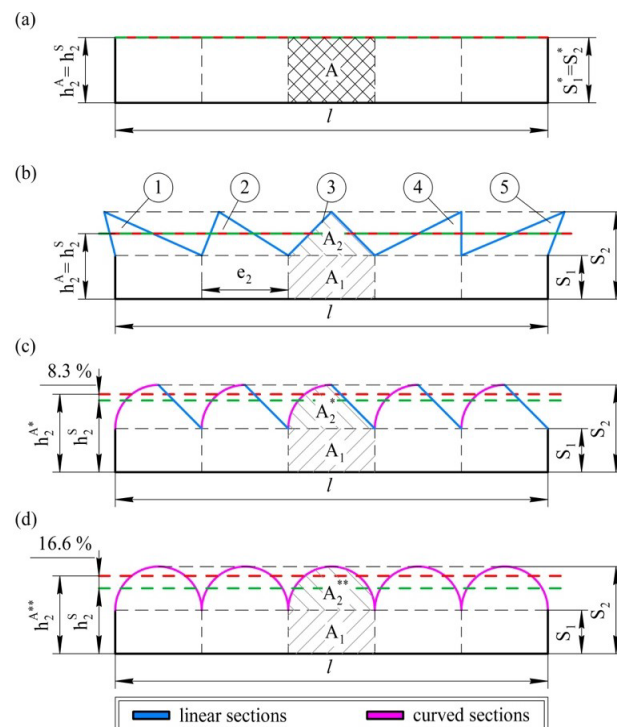


Рис 2. Формы сегментов стружки, (а) - сплошная стружка, (б) - форма гильзы 1-5 вариантов, (в) - полукруглая форма, (г) - криволинейная форма.

В данной статье представлена оригинальная методология высокоточного анализа поперечных сечений стружки с помощью разработанных алгоритмов автоматической обработки изображений. Впоследствии он исследует параметры сегментации стружки и формы зубьев стружки с помощью разработанных решений.

5. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
6. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
7. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.
8. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
9. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2020. № 2 (54). С. 65-77.
10. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.
11. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.

References

1. Hrechuk A. et al. Quantitative analysis of chip segmentation in machining using an automated image processing method // Procedia CIRP 82 (2019) 314–319
2. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сеп. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
3. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
4. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
5. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
6. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
7. Chernukhin R.V., Dolgushin A.A., Kasimov N.G., Ivantsivsky V.V., Lobanov D.V., Vasiliev S.A., Martyushev N.V. Justification of the consumption characteristics of the recuperator for the thermal unit of machines and equipment // Metal processing (technology, preparation equipment, tools). 2020. Vol. 22. No. 4. P. 82-93.
8. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
9. Fedorova A.A., Vasiliev M.A., Vasiliev S.A. Mathematical model of the trajectory of measuring the surface surface by circular scanning with a laser profilograph. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavod. Volga region. Technical science. 2020. No. 2 (54). S. 65-77.
10. Vasiliev S.A., Alekseev V.V., Vasiliev M.A., Fedorova A.A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020. Vol. 22. No. 4. P. 71-81.
11. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.

УДК 62-52

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИИ ПРАВЯЩЕГО КАТОДА

С.Е. Лимонов¹ студент, М.А. Борисов¹ канд. техн. наук

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», пр-т Московский, 15,
Чебоксары, Российская Федерация, 428015, e-mail: limonov.mbf@gmail.com

Аннотация

На сегодняшний день автоматизация все более широко применяется во всех отраслях промышленности. Идет переход от механизированного производства в автоматизированное производство. Благодаря автоматизированному производству имеется возможность оптимизировать процессы управления, улучшить качество продукции, а также повысить производительность труда. В данной статье рассматривается возможность снижения трудозатрат и повышение качества электрохимической правки абразивного инструмента на металлической связке различной формы за счет осуществления автоматической ориентации правящего катода относительно инструмента. Для решения этой задачи будет разработан программно-аппаратный комплекс, предназначенный для автоматического управления процессом правки абразивного инструмента различной формы. В устройстве используется программируемый микроконтроллер, импульсный блок питания 12 В, который обеспечивает непрерывное питание для шаговых двигателей, серводвигателя и мотора постоянного тока. Водяной насос необходим для циркуляции электролита в системе. Датчик уровня жидкости определяет общий уровень электролита в специализированной емкости. Дисплей отображает меню программируемого устройства, а энкодер служит для выбора и переключения подпрограмм управления, в зависимости от различных видов алмазных головок. Разработан опытный образец программируемого устройства для автоматического управления процессом электрохимической правки абразивного инструмента и программы его функционирования.

Ключевые слова: программируемое устройство, автоматическое управление, микроконтроллер, управляющая программа, электрохимическая обработка, абразивный инструмент, аппаратный комплекс, программирование.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR AUTOMATIC ORIENTATION OF THE RULING CATHODE

S.E. Limonov¹ student, M.A. Borisov¹ Cand. tech. Sciences

¹FSBEI HE "Chuvash State University named after I.N. Ulyanov", Ave Moskovsky, 15, Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: limonov.mbf@gmail.com

Annotation

Today, automation is increasingly being used in all industries. There is a transition from mechanized production to automated production. Thanks to automated production, it is possible to optimize management processes, improve product quality, and increase labor productivity. This article discusses the possibility of reducing labor costs and improving the quality of electrochemical dressing of abrasive tools on a metal bond of various shapes due to the implementation of automatic orientation of the ruling cathode relative to the tool. To solve this problem, a software and hardware complex will be developed, designed for automatic control of the dressing process of abrasive tools of various shapes. The device uses a programmable microcontroller, 12V switching power supply, which provides continuous power for stepper motors, servo motor and DC motor. A water pump is required to circulate electrolyte in the system. The liquid level sensor detects the general electrolyte level in a specialized container. The display shows the menu of the programmable device, and the encoder serves to select and switch control subroutines, depending on the different types of diamond heads. A prototype of a programmable device for automatic control of the process of electrochemical dressing of an abrasive tool and a program for its operation has been developed.

Keywords: programmable device, automatic control, microcontroller, control program, electrochemical processing, abrasive tool, hardware complex, programming.

На сегодняшний день автоматизация все более широко применяется во всех отраслях промышленности. Идет переход от

механизированного производства в автоматизированное производство. Благодаря автоматизированному производству имеется

возможность оптимизировать процессы управления, улучшить качество продукции, а также повысить производительность труда.

Известны различные методы правки инструмента при электрохимическом шлифовании [1-15]. Недостаток состоит в том, что правящий электрод при использовании указанных методов ориентируется вручную.

Цель работы - разработка программно-аппаратного комплекса для осуществления автоматической ориентации правящего катода в процессе электрохимической правки алмазного инструмента на металлической связке.

На рис. 1 приведен общий вид устройства. В него входит микроконтроллер ESP32 и импульсный блок питания 12В, который обеспечивает питание шагового двигателя, сервопривода и мотора постоянного тока. Имеется трех амперный понижающий модуль питания. Он создает рабочее напряжение микроконтроллера. Водяной насос необходим для циркуляции электролита в системе. Датчик уровня жидкости контролирует общий уровень электролита в специальной емкости. Драйвер шаговых двигателей служит для управления шаговыми двигателями. Дисплей отображает меню программируемого устройства, а энкодер предназначен для выбора и переключения подпрограмм управления, в зависимости от различных видов алмазных головок.

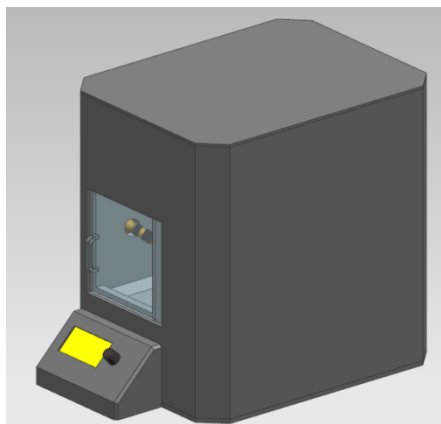


Рис. 1. Общий вид устройства

Разработанная конструкция устройства для электрохимической правки алмазных головок состоит из корпуса 1, дверцы 2, экрана 3, энкодера 4, бака для электролита 5, насоса 6, фильтра 7, щеточных моторов 8 и 9, шаговых двигателей 10 и 11, блока питания 12, микроконтроллера 13, трубки подачи электролита 14, правящего катода 15, алмазной головки 16, шпинделя 17 и сервопривода 18 (рис. 1, рис. 2, рис. 3).

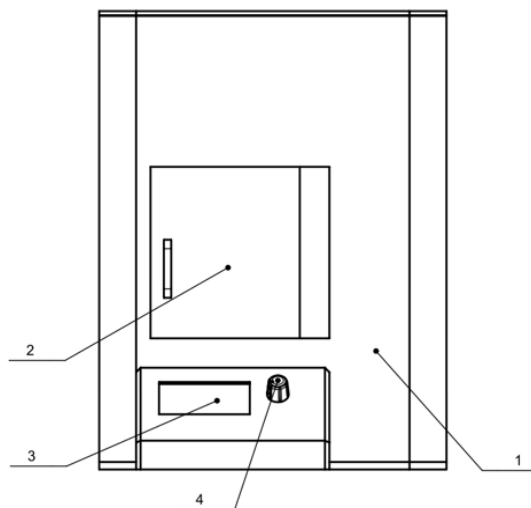


Рис. 2. Главный вид устройства

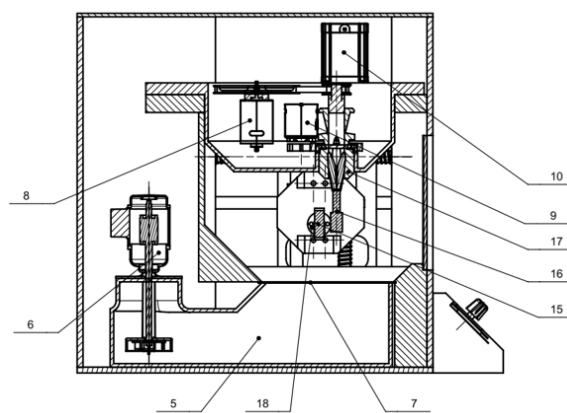


Рис. 3. Вид устройства сбоку (сечение)

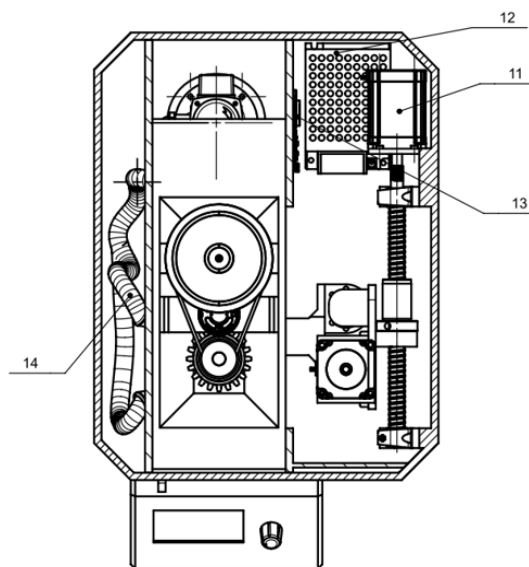


Рис. 4. Вид устройства сверху (сечение)

На рис. 5 приведена блок-схема функционирования программируемого устройства.

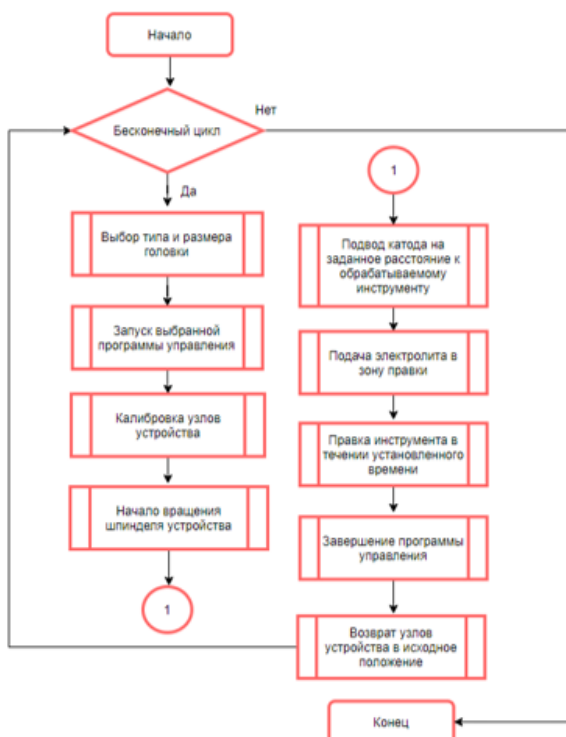


Рис. 5. Блок-схема функционирования программируемого устройства.

В соответствии с блок-схемой была разработана управляющая программа. На рис. 6 приведен её фрагмент.

```
void Menu::__callBackInterruptDT()
{
    enc.tick();
    if (enc.isLeft())
    {
        encoder--;
    }
    else if (enc.isRight())
    {
        encoder++;
    }
    Serial.println(encoder);
}

void Menu::__callBackInterruptCLK()
{
    enc.tick();
    if (enc.isLeft())
    {
        encoder--;
    }
    else if (enc.isRight())
    {
        encoder++;
    }
}
```

Рис. 6. Фрагмент управляющей программы

Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Борисов М.А. Разработка конструкции программируемого устройства для автоматического управления согласованной работой серводвигателя и насоса/ Борисов М.А., Мишин В.А.// Проектирование и

Разработанное устройство работает следующим образом. В шпиндель закрепляется алмазная головка. Далее оператор, с помощью дисплея и энкодера выбирает необходимый тип и размер головки, которую нужно править и запускает соответствующую ей программу на исполнение. Шпиндель, установленный на вал мотора постоянного тока, начинает вращать алмазную головку до заданной скорости. Через специальные трубки, подведенные к обрабатываемому инструменту и через очистной фильтр, подается электролит. В это время, правящий катод с помощью приводов будет перемещен на заданное программой расстояние, к обрабатываемой алмазной головке (рис. 7).

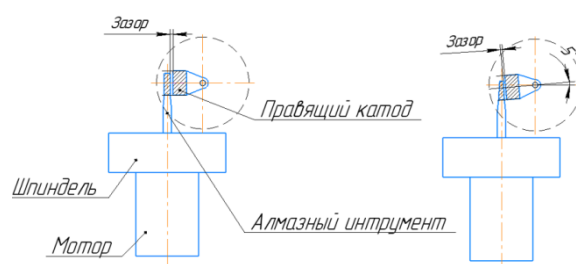


Рис. 7. Схема автоматической ориентации правящего катода.

На данный момент подобраны необходимые компоненты для изготовления программируемого устройства, проработана схема и логика перемещения правящего катода, а также разработана управляющая программа для функционирования устройства.

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.

4. Борисов М.А., Лобанов Д.В., Янюшкин А.С., Скиба В.Ю. Исследование процесса автоматического управления сменой полярности тока в условиях гибридной технологии электрохимической обработки коррозионностойких сталей. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 1. С. 6-15.

5. Борисов М.А., Мишин В.А. Влияние продолжительности импульсов тока на интенсивность электрохимического шлифования // Актуальные проблемы в машиностроении Т. 6, №1-4, 2019, С. 48-52.

6. Борисов М.А., Мишин В.А. Управление процессом электрохимического шлифования при отсутствии автономной цепи правки инструмента: монография / М.А. Борисов, В.А. Мишин. – Чебоксары: Политех, 2019. – 134 с.

7. Д.В.Лобанов, М.А.Борисов, А.С.Янюшкин, В.Ю.Скиба. Ways to implement hybrid finishing technology with a hand-held rotary tool. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 709 (2020) 044075 doi:10.1088/1757-899X/709/4/044075.

8. Мирзоев Р.А., Давыдов А.Д. Анодные процессы электрохимической и химической обработки металлов: Учебное пособие – 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 384 с.

9. Зворыгин А.С., Борисов М.А., Рафанова О.С. «Стенд для исследования процесса электрохимического шлифования». В сборнике: Современные технологии: проблемы и перспективы. сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных. Севастополь, 2020. С. 64-69.

10. Борисов М.А., Лобанов Д.В., Зворыгин А.С. Влияние продолжительности импульсов тока на шероховатость при электрохимическом шлифовании коррозионностойкой стали 12Х18Н10Т. Актуальные проблемы в машиностроении. 2020. Т. 7. № 3-4. С. 18-25.

11. Yanyushkin A., Lobanov D., Arkhipov P., Ivancivsky V. Contact processes in grinding. Applied Mechanics and Materials. 2015. Т. 788. p. 17-21.

12. Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Архипов П.В. Потеря режущей способности алмазных кругов на металлической связке при шлифовании композиционных материалов. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева, 2013, № 1 (47), С. 178-183.

13. Лимонов С.Е., Борисов М.А. Разработка программируемого устройства для моделирования процесса управления транспортным роботом в автоматической линии термообработки виртуальных деталей. В сборнике: Современные технологии: проблемы и перспективы. сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных. Севастополь, 2020. С. 97-101.

14. Stepper Motor Basics [Текст] // Industrial Circuits Application Note –Р. 1-6.

15. Stepper Motor Controllers [Текст] // STMicroelectronics, 2001–Р. 1-[Текст] // Adafruit learning system, 2015. –Р. 28.

References

1. Boris Borisov M.A. Development of the design of a device for automatic control of the flow of liquid supplied to several consumers / Borisov M.A., Mishin S.A. // Modern technologies in mechanical engineering and foundry production, materials of the III International Scientific and Practical Conference. 2017, p. 201-206. ov M.A. Development of the design of a device for automatic control of the flow of liquid consumed to several consumers / Borisov M.A., Mishin S.A. // Modern technologies in mechanical engineering and foundry, materials of the III International scientific and practical conference. 2017, pp. 201-206.

2. Borisov M.A. Development of a design and an algorithm for the functioning of a programmable device for automatic control of the process of selective delivery of liquid / Borisov M.A., Grigoriev V.S.// Modern technologies in mechanical engineering and foundry production. Materials of the II-nd international scientific-practical conference. Cheboksary; Chuvash. stat Borisov M.A. Development of a design and an algorithm for the functioning of a programmable device for automatic control of the process of selective delivery of liquid / Borisov M.A., Grigoriev V.S.// Modern technologies in mechanical engineering and foundry production. Materials of the II-nd international scientific-practical conference. Cheboksary; Chuvash. state un-t, 2016. 243-246.e un-t, 2016. pp.243-246.

3. Borisov M.A. Development of the design of a programmable device for automatic control of the coordinated operation of a servo motor and a pump / Borisov MA, Mishin VA // Design and advanced technologies in mechanical engineering and metallurgy. Materials of the II-nd Republican scientific-practical conference. Ministry of Education and Science of the Russian Federation; FSBEI HPE "Chuvash State University named after IN Ulyanov". 2016. pp.104-110.

4. Borisov M.A., Lobanov D.V., Yanyushkin A.S., Skiba V.Yu. Investigation of the process of automatic control of the current polarity change in the conditions of hybrid technology of electrochemical treatment of corrosion-resistant steels. Metal processing (technology, equipment, tools). 2020.Vol. 22. No. 1. pp. 6-15.

5. Borisov M.A., Mishin V.A. Influence of the duration of current pulses on the intensity of electrochemical grinding // Actual problems in mechanical engineering Vol. 6, No. 1-4, 2019, pp. 48-52.

6. Borisov M.A., Mishin V.A. Control of the process of electrochemical grinding in the absence of an autonomous chain of tool dressing: monograph / M.A. Borisov, V.A. Mishin. - Cheboksary: Polytech, 2019, 134 p.

7. D.V. Lobanov, M.A. Borisov, A.S. Yanyushkin, V.Yu. Skiba. Ways to implement hybrid finishing technology with a hand-held rotary tool. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 709 (2020) 044075 doi: 10.1088 / 1757-899X / 709/4/044075.
8. Mirzoev R.A., Davydov A.D. Anodic processes of electrochemical and chemical processing of metals: Textbook - 2nd ed., Sr. - SPb.: Publishing house "Lan", 2016. 384 p.
9. Zvorygin A.S., Borisov M.A., Rafanova O.S. "Stand for the study of the process of electrochemical grinding." In the collection: Modern technologies: problems and prospects. collection of articles of the All-Russian scientific-practical conference for graduate students, students and young scientists. Sevastopol, 2020. pp. 64-69.
10. Borisov M.A., Lobanov D.V., Zvorygin A.S. Influence of the duration of current pulses on the roughness during electrochemical grinding of corrosion-resistant steel 12X18H10T. Actual problems in mechanical engineering. 2020.Vol. 7.No. 3-4, pp.18-25.
11. Yanyushkin A., Lobanov D., Arkhipov P., Ivancivsky V. Contact processes in grinding. Applied Mechanics and Materials. 2015.Vol. 788, pp.17-21.
12. Yanyushkin A.S., Lobanov D.V., Arkhipov P.V. Loss of cutting ability of metal-bonded diamond wheels when grinding composite materials. Bulletin of the Siberian State Aerospace University. Academician M.F. Reshetneva, 2013, No. 1 (47), pp.178-183.
13. Limonov S.E., Borisov M.A. Development of a programmable device for simulating the control process of a transport robot in an automatic heat treatment line for virtual parts. In the collection: Modern technologies: problems and prospects. collection of articles of the All-Russian scientific-practical conference for graduate students, students and young scientists. Sevastopol, 2020, pp.97-101.
14. Stepper Motor Basics [Text] // Industrial Circuits Application Note, pp. 1-6.
15. Stepper Motor Controllers [Text] // STMicroelectronics, 2001 – P. 1- [Text] // Adafruit learning system, 2015, 28 p.

УДК 621

ОСНОВАННАЯ НА МОДЕЛИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ШПИНДЕЛЯ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ПРИВОДОМ ДЛЯ МИКРООБРАБОТКИ

Р.С. Романов¹ магистрант

¹ ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова» Ул. Спиридона Михайлова 3,
г Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail: jegid888@gmail.com

Аннотация

Одна из возможностей снизить технологические усилия, износ инструмента и особенно расширить диапазон обрабатываемых материалов для микрообработки: применение резки с вибрацией. Эта статья основана на моделировании конструкции шпинделя с воздушным подшипником и с ультразвуковым приводом для микрообработки. Приложения представлены. Концепция шпинделя, включая расположение опорных и упорных воздушных подшипников, приводной турбины, а также описан механизм, облегчающий колебательное движение инструмента. Моделирование вычислительной гидродинамики (CFD) используется для оптимизации блока питания и охлаждения шпинделя. Структурное моделирование предоставляет информацию о критических частотах вращения и колебаний ротора шпинделя. В этой статье, основанной на моделировании дизайна ультразвукового шпинделя с пневматическими подшипниками для микрообработки было подробно описано. Была объяснена концепция шпинделя, включая магнитоэлектрический эффект, вызывающий вибрацию инструмента. Различные геометрии турбин были изучены, чтобы оптимизировать привод шпинделя. Исходя из этого, была выбрана наилучшая конструкция. Кроме того, моделирование использовалось для анализа и оптимизации охлаждения шпинделя, и минимизации потерь мощности. Сравнивались различные формы выходных отверстий, по полученной температуре внутри шпинделя. Увеличение диаметра охлаждающего отверстия немного снизили температуру и шум. Кроме того, динамическое поведение ротора шпинделя было изучено роторно-динамическим анализом. Результаты этого анализа были показаны на диаграмме Кампбелла.

Ключевые слова: экспериментальное моделирование, микрообработка, пневматический шпиндель, фрезерование, вибрации, колесо Пелтона, терфенол-Д, воздушные подшипники, магнитоэлектрический эффект, магнитные материалы.

SIMULATION-BASED DESIGN OF AN ULTRASONIC-ASSISTED AIR BEARING SPINDLE FOR MICRO MACHINING

R. S. Romanov¹ Master's student

*FSBEI HE Chuvash State University named after I. N. Ulyanov 3 Spiridon Mikhailov Str., Cheboksary,
Russian Federation, 428015, e-mail: jegid888@gmail.com*

Abstract

One possibility to lower process forces, tool wear and specially to expand the machinable material range of micro machining applications is applying vibration-assisted cutting. In this paper, the simulation-based design of an ultrasonic-assisted air bearing spindle for micro machining applications is presented. The spindle concept, including the arrangement of journal and thrust air bearings, the driving-turbine as well as the mechanism that facilitates the oscillating tool motion is described. Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations are used to optimize the spindle's power and cooling unit. Structural simulations provide information about critical rotational and vibrational frequencies of the spindle's Rotor. In this paper, the simulation-based design of an ultrasonic-assisted air bearing spindle for micro machining applications was described in detail. The spindle's concept was explained, including the magnetostrictive effect that causes the vibration excitation. Different turbine geometries have been studied, in order to optimize the spindle's drive. Based on this, the Pelton wheel design was chosen and the torque generated by the rotor was determined. In addition, CFD simulations were used to analyze and optimize the spindle's cooling, compensating for electric power losses. Different geometries of the cooling air outlets have been compared with respect to the resulting temperature inside the spindle. Increasing the diameter of the cooling air outlets slightly reduced the temperature and the noise. Furthermore, the dynamic behavior of the spindle's rotor was studied by a rotordynamic analysis of the shaft and the air bearings. The results of this analysis were shown in a Campbell diagram.

Keywords: micro machining; ultrasonic-assisted machining; air bearing spindle, vibrations, Pelton wheel, Terfenol-D, air bearings, magnetostrictive effect, magnetic materials.

По мере миниатюризации компонентов, применение процессов микрообработки постоянно растет. Чтобы справиться с растущим спросом на процессы микрообработки, их эффективность необходимо повысить. Этого можно добиться несколькими способами, например, увеличением срока службы инструмента. В дополнение, диапазон обрабатываемых материалов необходимо расширить до труднообрабатываемых, например, до стекла или керамики. Использование ультразвуковой помощи при резке - многообещающий метод для выполнения данных требований. При ультразвуковой обработке вибрация в зоне резания вызывается колебанием инструмента. В случае шпинделя с ультразвуковым приводом обычное режущее движение накладывается на дополнительные вибрации инструмента в осевом направлении шпинделя. Нынешние коммерческие шпиндели с ультразвуковым приводом могут достигать частоты колебаний 25 кГц и радиального биения 0,7 мкм, однако этого недостаточно при сравнительно низких скоростях вращения, при использовании с микроинструментом диаметром <50 мкм

Нужно было достичь более высоких скоростей вращения, при малом радиальном биении, и дополнить ультразвуковым возбуждением. Новый высокоскоростной шпиндель с воздушным подшипником, и с

ультразвуковым возбуждением для микрообработки улучшит механическую обработку. В этой статье подробно показаны особенности проектирования шпинделя на основе компьютерного моделирования. Была объяснена концепция шпинделя, в том числе магнитострикционный эффект, вызывающий колебания. Были изучены различные геометрии турбин, чтобы оптимизировать привод шпинделя. Исходя из этого, была выбрана конструкция колеса Пелтона (Рис. 1, конструкция А) и определен крутящий момент, создаваемый ротором.

При разработке стояла задача: достичь скорости вращения шпинделя выше 100000 об / мин и колебания инструмента на частоте не менее 16000 Гц. Один из плюсов данного шпинделя то, что он легко интегрируется в существующие машины, поскольку для этого требуется только подача сжатого воздуха. Ротор опирается на два опорных воздушных подшипника. Чтобы свести к минимуму радиальное биение, один опорный подшипник расположен рядом с инструментом. Инструмент термически зажат в механизме изгиба, который закреплен на роторе. Воздушная турбина по конструкции колеса Пелтона приводит в движение ротор шпинделя.

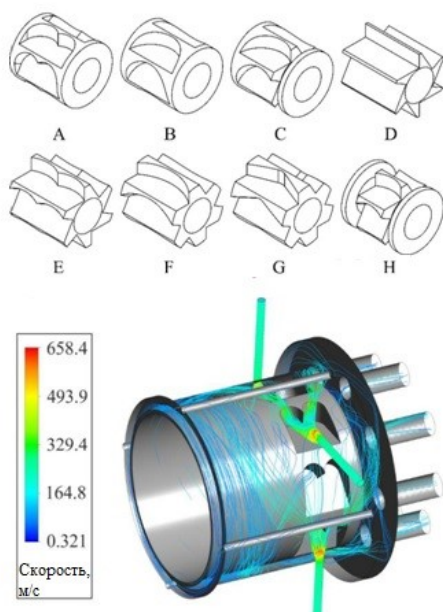


Рис. 1. Различные формы ротора

Ультразвуковое возбуждение шпинделя вызывается магнитострикционным эффектом. Магнитострикционный эффект заставляет магнитные материалы удлиняться в окружающем магнитном поле. В этом случае магнитное поле создается катушкой с 500 витками, по которой проходит переменный ток определенной частоты. Частота возбуждения инструмента шпинделя может контролироваться частотой тока, которая, в свою очередь, полностью регулируется с помощью функционального генератора (Nameg NM 8030-3 1).

Затем генерируемый ток усиливается с помощью усилителя мощностью 2400 Вт (t.amp TA 2400 МК-X). Из-за характеристик расширения магнитострикционного материала при прохождении гистерезиса удлинения частота возбуждения в два раза превышает частоту электрического тока.

В этой конструкции магнитострикционным материалом, используемым для осевого перемещения инструмента, является терфенол-D, который может удлиняться до 2 % в зависимости от окружающих условий. Другие механические свойства Терфенола-D перечислены в таблице 1.

Механическое св-во	Значение
Плотность	9200 - 9300 кг/м ³
Модуль Юнга	55 - 90 ГПа
Предел прочности	28-40 МПа
Прочность на сжатие	300-880 МПа

Чтобы извлечь выгоду из оптимального магнитного поля, ламинированный стержень из терфенола-D расположен внутри ротора шпинделя по центру катушки. При приложении магнитного поля терфенол-D удлиняется и воздействует на механизм изгиба, который также действует как держатель инструмента. Отклонение твердотельного шарнира приводит к осевым колебаниям инструмента. Напряжения материала и деформационные реакции твердотельного соединения показаны на рисунке 2.

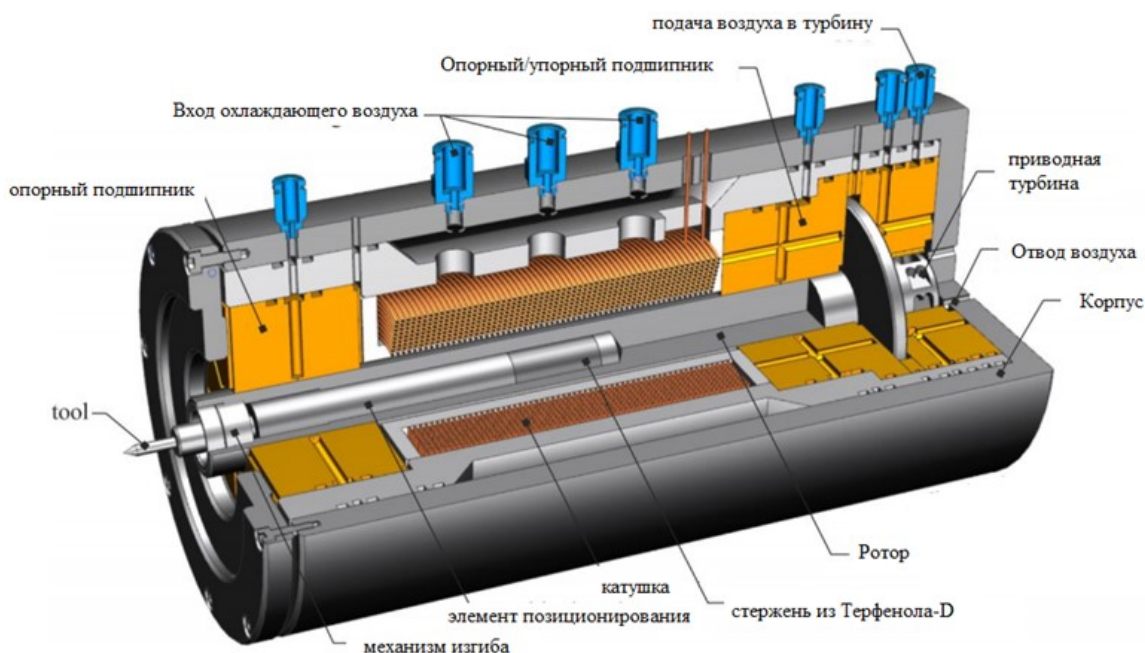


Рис. 2. Вид в разрезе: шпиндель с воздушным подшипником, и с ультразвуковым приводом.

В дополнение к четырем пневматическим источникам (для воздушных подшипников и приводной турбины) предусмотрены еще три пневматических источника для охлаждения электрического змеевика сжатым воздухом.

В этой статье, основанной на моделировании дизайна ультразвукового шпинделя с пневматическими подшипниками для микрообработки было подробно описано. Была объяснена концепция шпинделя, включая магнитострикционный эффект, вызывающий вибрацию инструмента. Различные геометрии турбин были изучены, чтобы оптимизировать привод шпинделя. Исходя из этого, была выбрана наилучшая конструкция (конструкция А).

Кроме того, моделирование использовалось для анализа и оптимизации охлаждения шпинделя, и минимизации потерь мощности. Сравнивались различные формы

выходных отверстий, по полученной температуре внутри шпинделя. Увеличение диаметра, охлаждающего немного снизили температуру и шум. Кроме того, динамическое поведение ротора шпинделя было изучено роторно-динамическим анализом. Результаты этого анализа были показаны в журнале Campbell. Было смоделировано динамическое поведение твердотельного соединения. Применяемая процедура моделирования была основана на удлинительных характеристиках магнитострикционного эффекта. Сделан вывод, что твердотельный стык подходит для предполагаемых частот вибраций шпинделя. Для дальнейших исследований описанная концепция шпинделя будет изготовлена с целью проверки его функциональности для микрообработки.

Список литературы:

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. [Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system](#) // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. [Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer](#) // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. [Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. [Mechanized spraying of liquid meliorants](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. [Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
6. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. [Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\).](#) 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.
7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. [Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
8. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. [Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.](#) 2020. № 2 (54). С. 65-77.
9. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. [Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\).](#) 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. [Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.
11. Greco S. [Simulation-based design of an ultrasonic-assisted air bearing spindle for micro machining](#) // Procedia CIRP 82 (2019) 160–165

References

1. Alekseev V. V., Vasiliev S. A. Application of fuzzy logic elements in the assessment of moisture availability in the plant-soil-air system // Fuzzy Technologies in Industry - FTI 2018. Proceedings of the Second International Scientific and practical Conference. Ser. "Proceedings of the CEUR seminar" 2018. pp. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasyeva I. Method of management of reclamation technologies on inclined cultivated lands using a large-scale profilometer // Engineering development of the village. Works. 2018. P. 537-542.
3. Maksimov I. I., Vasiliev S. A., Vasiliev A. A. Mechanized use of meliorants for soil moisture preservation on cultivated lands // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. p. 012027

4. Vasiliev A. A., Vasiliev S. A., Shkilev N. P. Mechanized atomization of liquid meliorants // Series of conferences of IOP: Science of the Earth and the environment. materials of the conference. Krasnoyarsk Scientific and Technical City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. S. 32026.
5. Alekseev V. V., Avilkin V. A., Vasiliev S. A. deriving the functional dependence of the coefficient of friction of the soil on steel // the IOP conference Series: materials Science and engineering. 2019. S. 012137.
6. The Chernukhin R. V. Dolgushin, A. A., Kasimov N. G., Ivanivsky V. V., Lobanov D. V., Vasilyev S. A., Martyushev N. In. Justification of the flow characteristics of the heat exchanger for heat training units of machines and equipment // obrabotka metallov (technology, equipment, tools). 2020. T. 22. No. 4. P. 82-93.
7. Alekseev V. V., Filippov V. P., Vasiliev S. A., Petrov A. A. The use of the volume coefficient of soil crushing for the evaluation of mechanical impact // In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. p. 032043
8. Fedorova A. A., Vasiliev M. A., Vasiliev S. A. Mathematical model of the trajectory of soil surface areas by circular scanning with a laser profiler // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Volga region. Technical sciences. 2020. No. 2 (54). pp. 65-77.
9. Vasiliev S. A., Alekseev V. V., Vasiliev M. A., Fedorova A. A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020. T. 22. No. 4. P. 71-81.
10. Vasiliev S. A., Fedorova A. A., Vasiliev M. A. Investigation of the features of the profilograph for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Scientific and Technical City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. S. 32021.
11. Greco S. Simulation-based design of an ultrasonic-assisted air bearing spindle for micro machining // Procedia CIRP 82 (2019) 160–165

УДК 005

БЕРЕЖЛИВОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ПРОБЛЕМЫ ЕГО ВНЕДРЕНИЯ В РОССИИ

М. А. Сазонова¹, Е. В. Ткаченко²

¹ГБПОУ МО «Физико-технический колледж», город Долгопрудный, 141730 Российская Федерация,
Sazonovamasha2003@gmail.com

²ГБПОУ МО «Физико-технический колледж» город Долгопрудный, 141730 Российская Федерация
jane.mishura@inbox.ru

Аннотация

Выявлены основные проблемы использования на Российских предприятиях Японского менеджмента качества – Кайдзен и его составляющей части – Бережливого производства. Рассмотрена история возникновения этой методологии и основные этапы ее внедрения на предприятиях Российской Федерации. Проведен краткий анализ различий в подходах к использованию методов Бережливого производства на Российских и Европейских предприятиях. Сделаны основные выводы и заключения, иллюстрирующие необходимые шаги для улучшения процессов внедрения методологии Кайдзен в России. Доказано, что внедряемую на предприятие методологию Бережливого производства необходимо, прежде всего, адаптировать под индивидуальные особенности самого предприятия. Необходимо усилить работу над ошибками и недочетами, выявленными в работе предприятия, но не путем ужесточения наказания, а, напротив, путем поощрения за то, что рабочий, сделав ошибку, проанализировал ее причину и предложил рационализаторские меры для дальнейшего устранения недочетов. Определено, что все нововведения, связанные с внедрением методологии Бережливого производства на предприятии необходимо принимать всем коллективом, причем делать это необходимо снизу – вверх, а не спускать вниз по указанию руководства, тогда нововведения станут понятны и коллектив их примет.

Ключевые слова: Бережливое производство, Кайдзен, концепция непрерывного улучшения, Союз «Молодые профессионалы (Ворлдскиллс Россия)»

PROBLEMS OF LEAN MANUFACTURING IMPLEMENTATION IN RUSSIA

M. A. Sazonova¹, E. V. Tkachenko²

¹ SBPEI MR "Physics and Technology college", Dolgoprudny, 141730, Russian Federation,
Sazonovamasha2003@gmail.com

² SBPEI MR "Physics and Technology college", Dolgoprudny, 141730, Russian Federation,
jane.mishura@inbox.ru

Abstract

Authors revealed the main problems of using the Japanese quality management - Kaizen and Lean manufacturing as its part at Russian enterprises. There was considered the origins of this methodology and the main stages of its implementation at the enterprises of the Russian Federation. The authors conducted a brief analysis of the differences in approaches to the use of Lean manufacturing methods at Russian and European enterprises. As the result authors give us a thorough description of the necessary steps to the processes of introducing the Kaizen methodology in Russia improvement. It was proved in the article that methodology implemented on the Lean manufacturing enterprise must be adapted to its specific characteristics. It is necessary to correct the mistakes identified in the enterprise production. It is necessary not to punish, but vice versa to encourage the worker who has made a mistake but analyzed its cause and suggested the rational measures to further improvement. The authors determined that all the innovative methods of the Lean manufacturing implementation at the enterprise must be adopted by the whole team and it must be bottom-up established without top-down management system. In this case innovations become clear for workers and accepted by them.

Keywords: Lean manufacturing, Kaizen, continuous improvement concept, WorldSkills Russia

1. Введение

Пандемия и режим самоизоляции 2020 года резко ударили по экономике России. Сильнее всего потери ощутил малый и средний бизнес. По данным объединений «Опора России» и «Деловая Россия», а также Торгово-промышленной палаты, карантин и введенные из-за него ограничения уже обошлись бизнесу в 3,7 триллиона рублей [1]. В связи с этим у предприятий возникла закономерная потребность в сохранении, развитии и достижении преимуществ над своими конкурентами с помощью внутренних усилий, без значительных финансовых вливаний. Одним из способов решения этой проблемы, на наш взгляд, является использование на предприятиях концепции Бережливого Производства, являющейся частью философии Кайдзен, которая может помочь добиться повышения конкурентоспособности и эффективности организации без повышения общего уровня расходов.

2. Основная часть

История Кайдзен началась в 1947 году, когда корпорация «Toyota» впервые применила концепцию Бережливого Производства в своем производственном процессе. Первоначально концепция непрерывного улучшения (Lean production) была разработана и внедрена в США, на ведущих американских корпорациях и завезена в Японию американскими

консультантами [2]. В то время товары Японии считались низкосортными и не были востребованы. Но уже через десять лет ситуация резко изменилась. И причина этих изменений именно во внедрении философии Кайдзен. Японское экономическое чудо – именно так называется небывалый рост экономики страны. С середины 50-х годов он начал составлять около 10% в год [3].

В России опыт использования Японского менеджмента качества получил развитие только в начале 2000-х годов. Первыми Российскими компаниями, которые внедрились у себя методы Бережливого Производства являются Группа «ГАЗ», «Русал», «ЕвразХолдинг», «ВАЗ», «КАМАЗ», «Еврохим», ОАО «КУМЗ», «ВСМПО-АВИСМА», «Корпорация «Иркут»» [4].

Горьковский автомобильный завод (группа ГАЗ) в 2002 году пригласил японских консультантов, которые провели полный анализ производства, нашли слабые места и помогли освоить первые этапы Бережливого Производства. По итогам применения методов Кайдзен на сегодняшний день завод дает ежегодный экономический эффект в размере 500 миллионов рублей и повышение производительности труда в 3 раза [5]. В колледжах и Вузах Нижнего Новгорода, студенты которых проходят производственную практику на предприятиях группы ГАЗ, разработаны и внедрены курсы лекций по дисциплине «Бережливое производство» и регулярно проводятся

олимпиады и соревнования среди школьников и студентов колледжей и Вузов по этому направлению.

Следующий крупный завод ПАО «КАМАЗ» начало освоение Кайдзен в 2006 году. На сегодняшний день экономический эффект от внедрения оценивают в 25 млрд рублей.

В 2008 году корпорация «Иркут» - производитель истребителей марки СУ и пассажирских Суперджетов начало внедрять методы Бережливого Производства. Уже через 4 года производственные мощности предприятия выросли на 42%, а в Государственном техническом университете города Комсомольск-на-Амуре с 2013 года для студентов специальностей «Самолето-и вертолетостроение» внедрен курс лекций по основам Бережливого производства.

В ОАО «Заволжский моторный завод» в 2008 году опираясь на концепцию Бережливого Производства было разработано более 40 мероприятий с экономическим эффектом от их внедрения более 14,5 млн. руб [6].

С 2021 года компетенция Бережливое производство открыта для проведения чемпионатов в Организации Союза «Молодые профессионалы (Ворлдскиллс Россия)». И если в 2019 году в чемпионате принимала участие только одна команда из Нижнего Новгорода, то уже в 2020 году только в региональных чемпионатах участвуют 5 команд, победители которых будут соревноваться друг с другом летом 2021 года уже на Национальном чемпионате.

Несмотря на позитивные изменения, связанные с внедрением философии Кайдзен в России, наша страна на несколько десятилетий отстает от зарубежных стран в объемах использования методов Бережливого Производства. И хотя интерес к использованию Кайдзен не ослабевает, многие руководители сталкиваются со многими проблемами внедрения этих методов в своих компаниях [7] (таблица 1) Говоря о применении концепции Бережливого Производства в России и за рубежом можно выделить следующие различия [8] (Таблица 2).

Опираясь на исследование Института комплексных стратегических исследований (ИКСИ) можно утверждать, что доля Российских компаний, так или иначе использующих методологию Бережливого Производства, на сегодняшний день составляет всего 5-8% в отличие от 68% европейских компаний [9].

Таблица 1. Проблемы с которыми сталкиваются компании, пытаясь внедрить у себя методологию Бережливого производства.

№ п/п	Проблема	Описание проблемы
1	Незаинтересованность топ менеджмента в глобальных изменениях	Руководство компании не заинтересовано в глобальных изменениях самой системы управления производством. Оно готово попытаться изменить только часть, относящуюся к персоналу, не осознавая, что изменения должны коснуться всей вертикали от рабочего до управляющего компанией.
2	Проблемы с обучением сотрудников	У сотрудников компании нет полного понимания философии и методологии Кайдзен. Учиться самим нет ни времени, ни желания, руководство выделять средства и время на обучение сотрудников не желает.
3	Попытка внедрить только общие положения Кайдзэн	Методология не адаптирована под конкретную компанию, выпускающую конкретную продукцию. Для решения проблем пытаются использовать только общие положения и популярные методики
4	Отсутствие системного подхода	В работе используют методы Бережливого Производства исключительно как набор отдельных инструментов, забывая, что Кайдзен - это прежде всего философия, имеющая под собой глубоко системный подход
5	Незаинтересованность сотрудников в применении методов в своей работе	Применение в компаниях методов Бережливого Производства носит формальный подход, зачастую делается «для галочки», что бы руководство «отстало»
6	Опасения сотрудников	Сотрудники сопротивляются внедрению новых подходов боясь изменений

Таблица 2. Различия в подходах применения концепции Бережливого производства в Российских и Европейских компаниях.

№ п/п	Российские компании	Европейские компании
1	Руководство компании зачастую желает использовать только некоторые, самые популярные методики, методики, которые находятся «на слуху».	Руководство принимает активное участие во внедрении полной методологии Кайдзен.
2	К установленным стандартам относятся формально, очень часто их игнорируют или выполняют «для отвода глаз».	Установленным стандартам четко следуют.
3	Руководство не желает выделять дополнительные средства для обучения своих сотрудников и проведения необходимых тренингов, поэтому команда, проводящая обучение сотрудников - порой совершенно случайные люди, не имеющие четкого представления о сущности Бережливого Производства.	Команда, занимающаяся разработкой, адаптацией и внедрением методологии Кайдзен в производство компетентна и профессиональна
	Возникает проблема с внедрением. Обычно пытаются внедрить один – два инструмента, особо не вникая в смысл преобразований	Внедрение всех преобразований четко и неукоснительно выполняется всеми структурами и в полном объеме
4	Выявленные ошибки скрывают, так как признание ошибки – это прямой путь к увольнению (а не поощрению) сотрудника. Так как рационализаторские предложения дополнительно не оплачиваются, то их озвучивание работники считают бессмысленной тратой времени, что в итоге приводит к несомненному снижению мотивации работников	Все выявленные в работе ошибки изучаются и поощряются

Основной проблемой владельцев компаний, пытающихся внедрить Кайдзен - является их желание получить все и сразу, здесь и сейчас. Философия же Кайдзен предполагает методичное, постепенное и долгосрочное совершенствование отдельных элементов, ведь Кайдзен - это мышление, ориентированное на процесс [10]. Исходя из этого - значительная часть компаний, вставших на путь преобразования с помощью внедрения концепции Бережливого Производства, отказываются от неё в течение первых нескольких лет, не дождавшись тех положительных изменений, которые может принести эта концепция.

3. Заключение

Рассмотренные в исследовании проблемы внедрения концепции Бережливого производства на предприятиях России позволяют сделать следующие выводы:

1. Пытаясь внедрить методологию Кайдзен в Российские компании, прежде всего, необходимо учитывать менталитет русского человека. Это означает, что саму методологию необходимо адаптировать под деятельность конкретной компании.

2. Необходимо переосмыслить систему наказаний в компании. Пока за ошибки будут наказывать штрафами и выговорами, концепция не заработает. Работники будут скрывать ошибки, и пытаться переложить вину на другого. Для решения этого вопроса и руководителю, и служащим необходимо проанализировать ситуацию, приведшую к ошибке, выявить причины возникновения ошибки и постараться стандартизировать данную операцию для исключения в дальнейшем ситуаций появления подобной ошибки.

3. Необходимо ставить четкие цели для всех сотрудников предприятия. Работник, не понимающий истинной цели своих действий, не сможет выполнить свою работу качественно.

4. Все нововведения и стандарты, разрабатываемые руководством при введении методологии Бережливого производства необходимо делать снизу-вверх при непосредственном участии самих рабочих. Тогда они будут понятны и принимаемы.

Список литературы

1. Общероссийская общественная организация малого и среднего предпринимательства «ОПОРА РОССИИ» <https://opora.ru/>, 2020 г.;
2. Практика построения производственной системы на основе философии бережливого производства и практического опыта ОАО «КАМАЗ», - презентация // Lean-academy [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://lean-academy.ru/Docs/Conference/PSK.pdf>, свободный;
3. Вумек Д., Джонс Д. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании - М.: Альпина Бизнес Букс, 2005;
4. Имаи М. Гемба кайдзен – М.: Альпина Паблшер, 2014;
5. Toyota Global Site [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.toyota-global.com>, свободный;
6. Оно Т. Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства – М.: ИКСИ, 2005;
7. Перейра Р. Руководство по бережливому производству [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://wkazarin.ru/wp-content/uploads/2013/09/LSSAGLM.pdf>, свободный;
8. Успеху можно научиться. Более тысячи российских компаний внедряют японскую философию производства кайдзен. Текст: Константин Волков. Российская газета - Спецвыпуск № 286(8044);
9. Вахрушев В. Принципы японского управления. - М: ФОЗБ, 2002;
10. Свободная русская энциклопедия «Традиция» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://traditio-ru.org/>, свободный.

References

1. All-Russian public organization of small and medium-sized businesses "RUSSIAN RELIANCE" <https://opora.ru/>, 2020;
2. The practice of building a production system based on the philosophy of lean manufacturing and the practical experience of JSC «KAMAZ», - presentation // Lean-academy [Electronic resource] – Access mode: <http://lean-academy.ru/Docs/Conference/PSK.pdf>, free;
3. Wumek D., Jones D. Lean manufacturing. How to get rid of losses and achieve prosperity of your company - M. : Alpina Business Books, 2005;
4. Imai M. Gemba kaizen - M. : Alpina Publisher, 2014;
5. Toyota Global Site [Electronic resource] – Access mode: <http://www.toyota-global.com>, free;
6. Ono T. Toyota Production System. Moving away from mass production - M. : ICSI, 2005;
7. Pereira R. Lean Manufacturing Guide [Electronic resource] – Access mode: <http://wkazarin.ru/wp-content/uploads/2013/09/LSSAGLM.pdf>, свободный;
8. Success can be learned. More than a thousand Russian companies are implementing the Japanese philosophy of kaizen production. Text: Konstantin Volkov. Rossiyskaya Gazeta - Special Issue No. 286 (8044);
9. Vakhrushev V. Principles of Japanese management. - M: FOZB, 2002;
10. Free Russian Encyclopedia "The Tradition" [Electronic resource] – Access mode: <http://traditio-ru.org/>, free.

УДК 658.5

СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ 3-D МОДЕЛИ ИЗ РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА С ПОМОЩЬЮ ОПТИЧЕСКОГО СКАНЕРА

Д.А. Саса¹ магистрант, А.Ю. Тараховский² канд. техн. наук, 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 данной статье описывается технология обратного инжиниринга, а также выявлены ключевые аспекты развития технологий с использованием обратного инжиниринга. Применение обратного инжиниринга возможно для предприятия в различных сферах деятельности. Представлены ключевые особенности реверсивного инжиниринга. Рассмотрена последовательность перехода от твердой детали к полигональной модели STL-формата, с помощью контрольно-измерительной машины. С помощью 3D сканера проводятся необходимые замеры и создается облако точек – полигональная модель. Указано программное обеспечение для перехода от полигональной модели к твердотельной модели. Зачастую данные сканирования содержат неточности и погрешности, поэтому необходим инструмент, позволяющий быстро и просто

исправить 3D модель и сделать ее пригодной для последующей работы. Для перевода STL файла в 3D модель и ее последующего исправления можно использовать программное обеспечение Geomagic Design X или ANSYS Discovery SpaceClaim. В SpaceClaim имеются встроенные средства исправления STL файлов, которые позволяют в автоматическом режиме заполнить разрывы, мелкие отверстия, отсутствующие грани. Рассмотрен процесс поэтапного обратного сканирования детали. Описано назначение и уникальность, а также ключевые особенности контрольно-измерительного манипулятора Hexagon Absolute Arm. Так же представлена последовательность проведения точечных контактных измерений детали для выявления отклонений после обработки.

Ключевые слова: обратный инжиниринг, инжиниринг, реверсный инжиниринг, манипулятор, проектирование, измерительные машины, облако точек, полигональная модель., CAD, 3D-сканирование, сложно фасонные поверхности.

CREATING A TECHNIQUE FOR IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE PROCESS OF CREATING A SOLID-STATE 3-D MODEL FROM A REAL OBJECT USING AN OPTICAL SCANNER

D.A. Sasa¹ master's degree student, A.Yu. Tarakhovskiy² candidate of technical Sciences, associate professor

¹ FSAEI 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

This article describes the technology of reverse engineering, as well as identifies the key aspects of the development of technologies using reverse engineering. The use of reverse engineering is possible for an enterprise in various fields of activity. The key features of reverse engineering are presented. The sequence of transition from a solid part to a polygonal model of the STL format, with the help of a control and measuring machine, is considered. With the help of a 3D scanner, the necessary measurements are made and a point cloud is created – a polygonal model. The software for switching from a polygonal model to a solid-state model is specified. Often, the scan data contains inaccuracies and errors, so we need a tool that allows you to quickly and easily correct the 3D model and make it suitable for subsequent work. To translate the STL file into a 3D model and then correct it, you can use the Geomagic Design X or ANSYS Discovery SpaceClaim software. SpaceClaim has built-in tools for correcting STL files, which allow you to automatically fill in gaps, small holes, and missing edges. The process of step-by-step reverse scanning of a part is considered. The purpose and uniqueness, as well as the key features of the Hexagon Absolute Arm control and measuring manipulator, are described. The sequence of point contact measurements of the part to detect deviations after processing is also presented.

Keywords: reverse engineering, engineering, manipulator, design, measuring machines, point cloud, polygon model., CAD, 3D scanning, complex shaped surfaces.

1. Введение

Одной из главных особенностей развития является решение проблем повышения эффективности и качества выпускаемой продукции. Требования к точности, надежности и долговечности машин, приборов и оборудования непрерывно возрастают, при этом особое значение приобретает задача повышения качества массовых деталей и изделий, значительная часть которых выполняется на автоматических линиях. Важная роль в обеспечении высокого качества продукции автоматизированных производств принадлежит автоматическим устройствам, предназначенным для контроля размеров деталей в процессе обработки, регулирования уровня настройки станков, а также для контроля и сортировки готовой продукции.

Обратный инжиниринг — это современный метод разработки и последующего изготовления высокотехнологичных деталей, узлов и агрегатов машин и механизмов. В процессе работы технологического оборудования часто возникает ситуация, когда необходимо воссоздать какую-либо деталь механизма. При этом конструкторская документация отсутствует, а заказ новой оригинальной детали невозможен.

В таких случаях на помощь инженерам приходит обратный (реверсивный) инжиниринг. Обратный инжиниринг – это, по сути, работа по обратному воссозданию образца детали, инжинирингу с применением инновационных технологий анализа, а именно: лазерного высокоточного 3D-сканирования, спектральный анализ для абсолютно точного

определения химического состава материала, изучение микрогеометрии (шероховатости) поверхностей, формы [1 - 2].

2. Процесс обратного инжиниринга

В общем случае обратный инжиниринг (Reverse engineering) означает процесс создания технической документации на основе имеющейся детали или конструкции. Иными словами, процесс проектирования идет в обратном направлении — от физического объекта к его абстрактному представлению — цифровой модели. Он используется для воссоздания дорогостоящих деталей в приборостроении, оборонной промышленности, нефтегазовой, химической и энергетической отраслях.

Реверсивный инжиниринг используется для производства разнообразных деталей, таких как уплотнения, прокладки, детали корпуса или двигателя, и может быть применен при восстановлении работоспособности устаревшего оборудования, за счет создания цифровой модели с последующей ее передачей в CAD, CAM, CAE системы с дальнейшим производством, и при проектировании новых конструкций на базе имеющихся.

“Реверс” изделия — творческий процесс, предполагающий, понимание технологий, принципа работы устройства, умения соединить все детали изделия так, чтобы достичь заданных характеристик работы. Инженер, занимающийся обратным инжинирингом, работает в некоторой степени как археолог. Перед ним стоит задача восстановить неизвестную технологию создания детали, для получения точно такого же результата. Для этого они изучают как деталь работает, где применяется, какие могут быть способы создания копии.

Ключевой элемент процесса обратного инжиниринга — создание цифровой копии с помощью программного обеспечения CAD (computer-aided design, САПР). Цифровая копия создается вручную или с помощью технологии сканирования в CAD-модель. После того как геометрия детали воспроизведена, инженеру необходимо выбрать технологию изготовления — традиционную или аддитивную.

На первом этапе производится сканирование детали. С помощью 3D сканера проводятся необходимые замеры и создается облако точек. Есть ряд средств измерения объектов при 3D-сканировании, например, лазерные сканеры, световые сканеры, координатно-измерительные машины (СММ) и

промышленные КТ-сканеры. 3D сканер может быть совсем простым, как камера телефона, или сложным — с лазерным устройством на роботизированном манипуляторе.

Полученное с помощью сканера облако точек переводится в формат STL. Следует подчеркнуть, что после 3D сканирования в распоряжении инженера имеется только полигональная модель, требующая обязательной доработки. Полигональная модель в отличие от твердотельной состоит только из плоскостей, не имеющих толщину. Зачастую данные сканирования содержат неточности и погрешности, поэтому необходим инструмент, позволяющий быстро и просто исправить 3D модель и сделать ее пригодной для последующей работы. Для перевода STL файла в 3D модель и ее последующего исправления можно использовать программное обеспечение Geomagic Design X или ANSYS Discovery SpaceClaim. В SpaceClaim имеются встроенные средства исправления STL файлов, которые позволяют в автоматическом режиме заполнить разрывы, мелкие отверстия, отсутствующие грани. После того, как получена точная 3D модель создана, инженер может подготовить деталь к традиционному производству с помощью CAM приложения, или передать геометрию в специализированное ПО для печати на 3D принтере [3 - 5].

3. Теория

3.1. Общие термины и определения

Сетка — это многоугольная модель, представляющая физический объект. Сетка состоит из множества треугольников, которые связаны и могут быть созданы из облака точек или данных САПР.

Сканированная часть обычно состоит из нескольких сканирований со всех сторон, что требует выравнивания сканирований путем перекрытия и выравнивания общих областей в программном обеспечении. После выравнивания несколько сеток могут быть преобразованы в единую сетку путем слияния. При объединении нескольких сканирований перекрывающиеся области будут удалены.

В приложении для разделения похожих объектов между сеткой и телом используются следующие термины.

Poly-Face: Треугольники, окутанные тремя полиграфами.

Poly-Edge: соединяет ребро между двумя поливеретами.

Poly-Vertex: точка, представляющая положение в 3D-пространстве.

Граница: Любое отверстие в сетке, где нет треугольников.

3.1.1 Группа регионов. Сегментация регионов — это способ группировки наборов полиграней, принадлежащих одному признаку. Регионы помогают выравнивать данные сетки с глобальной системой координат и выбирать интересующий регион для извлечения проектного намерения и преобразования его в поверхность.

Регионы могут быть автоматически созданы путем анализа кривизны на сетке. После этого регионы могут быть изменены вручную, если это необходимо.

3.1.2 Эскиз и сетка. Большинство функций начинаются с создания эскиза. Объекты эскиза рисуются на плоскости, известной как базовая плоскость. Базовая плоскость может быть реф. плоскостью, плоской поверхностью тела или плоской областью.

В приложении есть два вида эскизов. Один — это эскиз, а другой — эскиз сетки. Эскиз используется для свободного рисования на базовой плоскости аналогично другим САПР. Сетка эскиза используется для рисования объектов эскиза на полилинии раздела путем подгонки линий, дуг и сплайнов на выбранные полилинии. Когда будет создан Mesh Sketch, суффикс «(Mesh)» будет добавлен в конец имени объекта эскиза в Дереве компонентов и Дереве модели.

Когда используется Mesh Sketch, базовая плоскость используется для извлечения профиля сечения из сетки или облака точек, полилинии сечения. Раздел Полилинии состоят из нескольких небольших отрезков линии, где разрез пересекает треугольник; Разрешение полилинии зависит от качества сетки или облака точек. Приложение может автоматически определять, какие области полилинии должны быть линиями и дугами, и пользователи могут управлять разрешением, используя параметр «Сегментная полилиния» в палитре инструментов Mesh Sketch.

Тело, представляющее деталь с набором открытых поверхностей без объема. Поверхностное тело обычно используется для представления сложной формы. Поверхностные тела могут быть выполнены с двумя видами поверхностей. Первая — параметрическая поверхность, которую можно создать с помощью команд выдавливания, чердака, свипирования или вращения. Вторая — это подходящая поверхность, которая подходит непосредственно к сетке с помощью команд подгонки сеток, границы или

автоматического наложения. Поверхность подгонки, которая подходит непосредственно к сетке, используя команды подгонки сеток, граничной подгонки или автоматического наложения. Поверхность фитинга используется для создания форм свободной формы, которые не являются параметрическими особенностями, такими как органический природный объект.

Тип файла, создаваемого сканером, будет отличаться в зависимости от типа используемого сканера. Ниже приведены различные классификации для внутренних структур точечных облаков.

3.2. Типы данных 3d-сканирования.

3.2.1 Облако точек. Облако точек — это типичный тип данных, состоящий из группы вершин в трехмерной системе координат. Каждая вершина определяется координатами X, Y и Z; и соответствует одной позиции на поверхности объекта. Хотя точечные облака можно непосредственно визуализировать на ПК, они обычно не используются в большинстве 3D-приложений. Точечные облака обычно необходимо преобразовать в модели сетки или модели САПР посредством процессов, называемых моделированием сетки, или обратного проектирования.

3.2.2 Случайное облако точек. Этот тип содержит только случайную информацию о местоположении (без связи между точками), и может быть добавлена основная информация, такая как цвет и норма. Как правило, к этому типу группы относятся нейтральные данные (формат ASCII) или CMM.

3.2.3 Точечное облако сетки. Поскольку измеренные точки извлекаются из сетчатого рисунка сканера, точки также будут извлекаться из углов сетки. Точки помечены индексом X-Y, и каждый индекс имеет глубину для направления сканирования. Этот тип данных сканирования может быть 2.5D-изображением (изображение + расстояние на каждом пикселе) с использованием направления проецирования и положения сканирования. Как правило, структурированный световой и дальний сканер производит этот тип точечного облака. Точечное облако типа сетки можно легко преобразовать в сетку, проецируя на плоскую, цилиндрическую или сферическую координату, используемую со сканером.

3.2.4 Точечное облако типа линии. Как правило, устройство типа arm с лазерным сканером или ручным сканером создает облако точек линии. Устройство излучает десятки линий лазеров каждую секунду, и точечные

облака собираются из трассы сканирования на поверхности объекта. Плотность точек будет различной в зависимости от направления линии и скорости сканирования, поэтому пост-обработка для создания сетки из облака точек может быть сложнее.

4. Преимущества программного обеспечения программы Geomagic Design X

Преимущества ПО:

1. В распоряжении пользователя – обширный выбор новейших инструментов САПР и обработки сканов, позволяющих работать с любыми, в том числе самыми сложными, объектами в любых отраслях промышленности – от миниатюрных электронных компонентов до целых зданий.

2. Программа совместима с большинством 3D-сканеров, доступных на рынке.

3. Производительность ПО: благодаря Design X предприятие сможет снизить затраты на выполнение проекта и сократить сроки выпуска продукта на рынок.

5. Особенности создания твердотельной модели после сканирования

Для измерения отклонений манипулятором необходимо закрепить деталь на плите (рис.1), причем совпадение плоскостей самой детали и манипулятора необязательно. После установки детали необходимо произвести калибровку щупа контрольно-измерительной машины (КИМ). Щупом касаемся детали, которая имеет круглую форму, центр и радиус измерительного щупа определяется путем измерения прецизионной сферы [9 - 10].



Рис. 1. Установка детали на плите

Далее производим процесс сканирования детали в программе PolyWorks оптическим

сканером плавно перемещая луч лазера вдоль корпуса детали, в местах труднодоступных производим несколько проходов для создания более качественной полигональной модели для простоты создания твердотельной модели в САПР отсканированная модель представлена на рис.2.

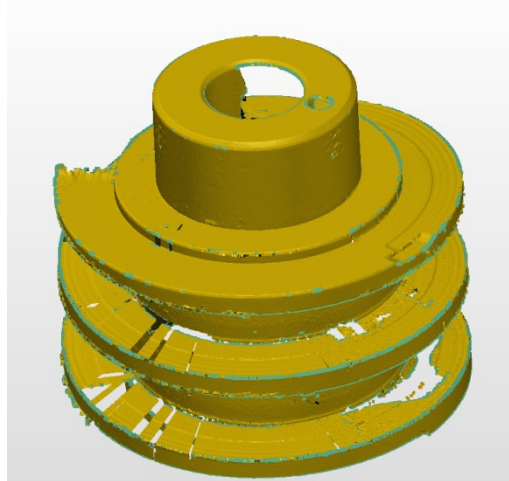


Рис. 2. Отсканированная полигональная модель

После окончания сканирования, удостоверившись в полноте полигональной модели, мы сохраняем ее в STL-формате. Далее воспользуемся программой Geomagic Design X.

После загрузки детали в ПО, мы разбиваем деталь на регионы, выравниваем ее по осям координат и указываем центр (рис.3).

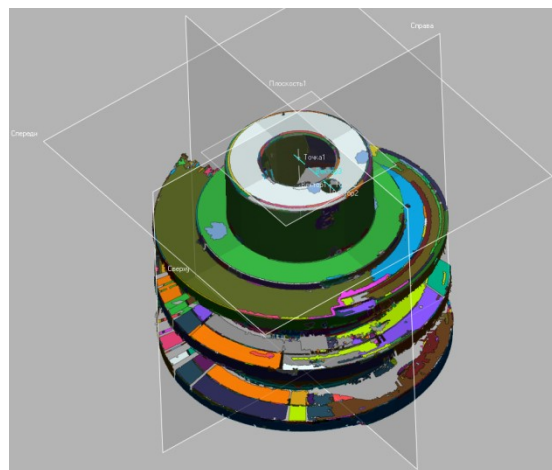


Рис. 3. Выравнивание модели по осям координат

Далее выбираем плоскость для начала моделирования. После выбора плоскости мы выбираем проекцию разреза модели: проекцию по которой возможно выполнить «обводку». Выбираем окружность на детали по трем крайним точкам (рис.4). Точный диаметр выставляем инструментом «Измерить».

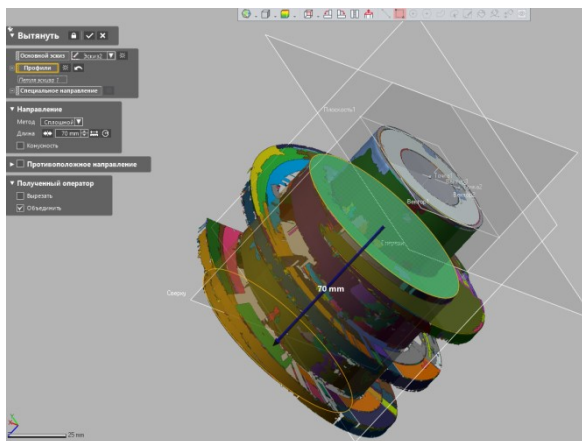


Рис. 4. Создание цилиндрического твердого тела модели

Выйдем из эскиза и выдавим полученный профиль «до региона». Далее объединим по кругу одинаковые участки и сделаем так называемую свободную поверхность. После создания поверхностей, скрываем нашу граничную модель и выбираем «инструмент реза»: поверхности, второе значение мы выберем твердое тело, от которого будем отрезать ненужные части, созданными плоскостями. После реза поверхности сохраняются, поэтому их нужно скрыть вручную.

Выбираем плоскость на верхней части детали и создаем чертеж окружности по трем точкам, аналогично выставляем диаметр и выдавливаем до верхнего региона.

Аналогично выполним внутреннее сквозное отверстие в модели, только при удалении нужно поставить галочку на пункте отрезать.

Теперь выбираем самую качественно отсканированную внутреннюю часть, чтобы наш вырез оказался правильной формы.

Выбираем три поверхности на поверхности для отрисовки профиля и выдавливания винтовой поверхности в копир-червяке. После объединения плоскостей отделим ненужные части твердого тела от основной модели (рис. 5).

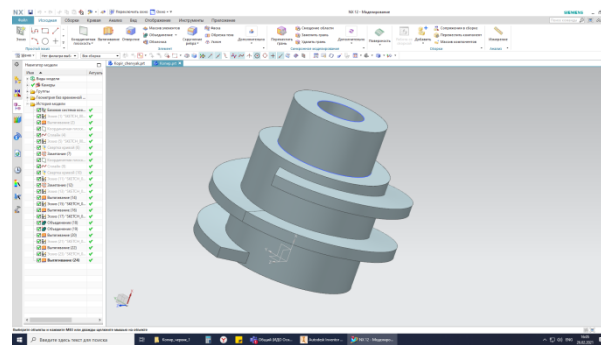


Рис. 5. 3D модель

6. Заключение

В рамках задачи обратного инжиниринга было выполнено лазерное трехмерное сканирование и измерение объекта, и на основе его скан-файла (облака точек) получены цифровая экспресс-модель, используемая для контроля геометрических параметров, и высокоточная объемная модель копир-червяка, отвечающая требованиям создания промышленного производства.

Таким образом, современный обратный инжиниринг позволяет быстро получать цифровые модели физических объектов, а затем создавать их дубликаты с помощью доступных технологий производства. Так проводить высокоточные измерения в короткие сроки без сложных вспомогательных устройств. После проведения измерений можно сделать вывод, что нужно пересмотреть режимы обработки поверхностей, а также выбрать правильные температуры в случае необходимости закалки и производить равномерное погружение детали в охлаждающее вещество, чтобы деталь не деформировалась от тепловых напряжений.

Технологии трехмерного цветного лазерного сканирования различных объектов машиностроения позволяют эффективно решать актуальные инженерные задачи.

Список литературы

1. Тараховский А.Ю. Геометрическое моделирование и автоматизация процесса его изучения / А.Ю. Тараховский // 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 2019 г. - Нижний Новгород: Изд-во НГПУ им. Козьмы Минина, 2019. - С. 68-72.
2. Саса Д.А., Тараховский А.Ю. Особенности изготовления рамных изделий для специализированного подвижного состава путем создания компьютерного моделирования состояний объекта изделий // СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ // сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных. Севастополь, 2020 г – Изд-во ФГАОУ ВО «СевГУ», 2020 г. – С. 210-213.

3. Водин Д.В. Применение технологии обратного инжиниринга в машиностроении / Д.В. Водин. — Текст : непосредственный // Технические науки: проблемы и перспективы : материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2016 г.). — Санкт-Петербург : Свое издательство, 2016. — С. 67-69.
4. Обратный инжиниринг / Caduser.ru: информационный портал для профессионалов в области САПР. [Электронный ресурс] URL: https://www.caduser.ru/press/articles/cm_87_10.html - Дата обращения: 26.09.2020.
5. 3D сканирование и конструкторские услуги / Glavconstructor.ru информационный портал [Электронный ресурс] URL: <https://glavconstructor.ru/services/revers-engineering/> - Дата обращения: 26.09.2020.
6. Оборудование для обратного инжиниринга / Promgeo.com: информационный портал для профессионалов в области метрологии. [Электронный ресурс] URL: <https://www.promgeo.com/equipment/romer/hexagon-absolute-arm-7-axis/> - Дата обращения: 27.09.2020
7. Выбор 3D-сканера для реверс-инжиниринга / 3dtoday.ru: информационный портал для профессионалов в области 3-D сканирования и печати. [Электронный ресурс] URL: <https://3dtoday.ru/blogs/top3dshop/vybor-3d-skanera-dlya-revers-inziniringa/> - Дата обращения: 26.09.2020.
8. Electric power systems KIT / P. Bannykh, A. Trembach, A. Kazantsev, O. Vozisova, S. Eroshenko // 2nd International Conference on Advances in Energy and Environmental Science, ICAEES 2014. Guangzhou, 21–22 June 2014. Advanced Materials Research. 1008–1009. P. 1166–1170.
9. Калибровка щупов / renishaw.ru: информационный портал для профессионалов в области измерений, контроля перемещений, здравоохранения, спектроскопии и производства. [Электронный ресурс] URL: <https://www.renishaw.ru/ru/calibration-of-styli--6633/> - Дата обращения: 29.09.2020.
10. Введение в координатную метрологию/ Hexagonmi.com/ru: информационный портал в области обратного инжиниринга. [Электронный ресурс] URL: <https://www.hexagonmi.com/ru-ru/solutions/technical-resources/metrology-101/intro-to-coordinate-metrology> - Дата обращения: 29.09.2020.
11. Geomagic Design X – быстрый путь от 3D-скана к CAD-модели/ blog.iqb.ru: информационный портал в области обратного инжиниринга. [Электронный ресурс] URL: <https://blog.iqb.ru/geomagic-design-x/> - Дата обращения: 20.02.2021.
12. Саса Д.А., Тараховский А.Ю. Использование многофункционального измерительного манипулятора для контроля параметров получаемых после механической обработки. «Вестник современных технологий» сборник научных трудов международной конференции «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования машиностроения» (7 – 11 сентября 2020 г.) / Главный ред. д. т. н., проф. С.М Братан – Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2020. – №3(19). – 67 с.

References

1. Tarakhovskaya, A. Yu., Geometric modeling and automation process study / A. Tara chowski education in the digital age: a collection of articles on materials of the International scientific-practical conference of teachers, students, postgraduates, doctoral students and stakeholders, Nizhny Novgorod, December 10-11, 2019 - Nizhny Novgorod: Izd-vo ngpu im. Kozmy Minina, 2019. - pp. 68-72.
2. Sasa D. A., Tarakhovsky A. Yu. Features of manufacturing frame products for specialized mobile equipment by creating a computer simulation of the states of the object of products / / MODERN TECHNOLOGIES: PROBLEMS AND PROSPECTS / / collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference for postgraduates, students and young scientists. Sevastopol, 2020-Publishing House of the Federal State Educational Institution "SevSU", 2020-pp. 210-213.
3. Vodin D. V. Application of reverse engineering technology in mechanical engineering / D. V. Vodin. - Text : direct // Technical sciences: problems and prospects: materials of the IV International Scientific Conference (Saint-Petersburg, July 2016). - Saint-Petersburg: Its publishing house, 2016. - pp. 67-69.
4. Reverse engineering / Caduser.ru: information portal for CAD professionals. [Electronic resource] URL: https://www.caduser.ru/press/articles/cm_87_10.html - date of access: 26.09.2020.
5. 3D scanning and design services / Glavconstructor.ru information portal [Electronic resource] URL: <https://glavconstructor.ru/services/revers-engineering/> - Date of access: 26.09.2020.
6. Equipment for reverse engineering / Promgeo.com: information portal for professionals in the field of metrology. [Electronic resource] URL: <https://www.promgeo.com/equipment/romer/hexagon-absolute-arm-7-axis/> - date of access: 27.09.2020
7. Choosing a 3D scanner for reverse engineering / 3dtoday.ru: information portal for professionals in the field of 3-D scanning and printing. [Electronic resource] URL: <https://3dtoday.ru/blogs/top3dshop/vybor-3d-skanera-dlya-revers-inziniringa/> - Accessed: 26.09.2020.
8. Electric power systems KIT / P. Bannykh, A. Trembach, A. Kazantsev, O. Vozisova, S. Eroshenko / / 2nd International Conference on Advances in Energy and Environmental Science, ICAEES 2014. Guangzhou, 21-22 June 2014. Advanced Materials Research. 1008–1009. P. 1166–1170.
9. Calibration of test leads / renishaw.ru: information portal for professionals in measurement, displacement control, healthcare, spectroscopy, and manufacturing. [Electronic resource] URL: <https://www.renishaw.ru/ru/calibration-of-styli--6633/> - Accessed: 29.09.2020.
10. Introduction to coordinate Metrology/ Hexagonmi.com/ru: information portal in the field of reverse engineering. [Electronic resource] URL: <https://www.hexagonmi.com/ru-ru/solutions/technical-resources/metrology-101/intro-to-coordinate-metrology> -Date of access: 29.09.2020.
11. Geomagic Design X-Fast path from 3D scan to CAD model/ blog.iqb.ru: information portal in the field of reverse engineering. [Electronic resource] URL: <https://blog.iqb.ru/geomagic-design-x/> - date of access: 20.02.2021.
12. Sasa D. A., Tarakhovsky A. Yu. The use of a multifunctional measuring manipulator to control the parameters obtained after mechanical processing. "Bulletin of Modern Technologies" collection of scientific papers of the international conference "Modern trends and Prospects for the development of processing technologies and machine-building equipment" (September 7-11, 2020) / Chief Editor, Doctor of Technical Sciences, Professor S. M. Bratan-Sevastopol: Sevastopol State University", 2020. – №3(19). – 67 с.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРИРОВАННОГО ФЛАНГА НА ОХЛАЖДАЮЩУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ПРИ БУРЕНИИ

Д.Ю. Смирнов¹, магистрант

¹ФГБОУ ВО Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова, ул. Спиридона Михайлова 3, г. Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail: Homipa21@yandex.ru

Аннотация

Буровой инструмент подвергается высоким механическим и тепловым нагрузкам что в свою очередь сильно влияет на режущий инструмент. Зона резания расположена внутри заготовки, что затрудняет подачу достаточного количества рабочей жидкости к режущим кромкам. Чтобы смягчить это, жидкость подается по каналам внутри инструментов к боковой поверхности. Так же применение более эффективных рабочих жидкостей с оптимизированными условиями охлаждения наиболее благоприятно влияет на работу инструмента и на его качественные характеристики. В данной работе исследовано влияние дополнительного структурирования фланцевой поверхности на повышение эффективности охлаждения и влияние увеличения рабочей жидкости к первой боковой грани. Проанализированы различные формы конструкций, позволяющих нам обеспечить больший объем рабочей жидкости. Было проведено исследование и сравнение предыдущих результатов исследований на возможность условий оптимизации внутреннего охлаждения. Это исследование проводилось с использованием вычислительно-гидродинамического моделирования. Моделирование показывает, что охлаждение может быть улучшено структурами при низких скоростях потока. Были построено несколько вариаций CAD модели бурового инструмента для проведения более точных результатов. Построены графики влияния изменений в конструкции сверлильного инструмента и проанализированы результаты этих изменений.

Ключевые слова: бурение, охлаждение, моделирование, сверло, температура, жидкости, структура, скорость, поток, форма.

THE INFLUENCE OF THE STRUCTURED FLANK ON THE COOLING PERFORMANCE DURING DRILLING

D.Yu. Smirnov¹ Master's Student

¹FSBEI HE Chuvash State University I.N. Ulyanov, 3 Spiridon Mikhailov Str., Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: Homipa21@yandex.ru

Abstract

The drilling tool is subjected to high mechanical and thermal loads, which in turn greatly affects the cutting tool. The cutting area is located inside the workpiece, which makes it difficult to supply a sufficient amount of working fluid to the cutting edges. To mitigate this, the liquid is fed through channels inside the tools to the side surface. Also, the use of more efficient working fluids with optimized cooling conditions has the most favorable effect on the operation of the tool and on its quality characteristics. In this paper, the effect of additional structuring of the flank surface on increasing the cooling efficiency and the effect of increasing the working fluid to the first side face is investigated. Various forms of structures that allow us to provide a larger volume of working fluid are analyzed. A study and comparison of previous research results on the possibility of conditions for optimizing internal cooling was carried out. This study was conducted using computational hydrodynamic modeling. Simulations show that cooling can be improved by structures at low flow rates. Several variations of the CAD model of the drilling tool were built to produce more accurate results. Graphs of the impact of changes in the design of the drilling tool are constructed and the results of these changes are analyzed.

Keywords: Drilling, Cooling, Modeling, Drill, Temperature, Fluids, Structure, Velocity, Flow, Shape.

1. Сверлильные инструменты, как правило, твердосплавные сверла, подвергаются высоким механическим и тепловым нагрузкам. Поскольку прочность цементованного карбида уменьшается с повышением температуры и, следовательно, износостойкость снижается, в большинстве промышленных буровых работ в качестве контрмеры

используются металлообрабатывающие жидкости. Удаление стружки через сверлильные канавки, а также то, что зона резания расположена внутри заготовки, затрудняют внешнюю подачу охлаждающей смазки. Для глубоких отверстий (длина/диаметр > 3) Сверла с внутренними каналами охлаждения являются отраслевым стандартом. Выходы этих каналов

расположены на боковой поверхности, что приводит к косвенному охлаждению зоны резания. Использование внутреннего охлаждения приводит к улучшению охлаждения инструмента и заготовки по сравнению с внешним охлаждением. Кроме того, поддерживается эвакуация стружки и снижается трение.

Производительность сверла может быть улучшена за счет более эффективной охлаждающей смазки с оптимизированными внутренними условиями охлаждения. Для улучшения условий внутреннего охлаждения могут быть использованы различные конструктивные элементы. Предыдущие исследования по оптимизации внутренней подачи теплоносителя были сосредоточены на поведении потока в охлаждающем канале и канавке, а также на влиянии диаметра охлаждающего канала и давления подачи на эффективность теплоносителя. В нашем институте путем численного моделирования течения изучено влияние положения выходного отверстия охлаждающего канала на эффективность охлаждения и смазки. Охлаждение каналов вблизи режущей кромки приводило к увеличению расхода и, как следствие, к улучшению охлаждения. Расстояние выходных отверстий до оси вращения инструмента существенно не влияло на охлаждение. Результаты моделирования могут быть подтверждены с помощью спиральных сверл из цементированного карбида, разработанных в соответствии с результатами моделирования. Дальнейшие расчеты показали, что уменьшение угла второй боковой грани и уменьшение диаметра охлаждающего канала приводят к увеличению эффективности охлаждения.

Еще одной возможностью улучшения охлаждающей смазки является интеграция конструкций в боковую поверхность вблизи режущей кромки. Это не только изменяет условия течения, но и увеличивает поверхность сверла и доступный объем жидкости в зоне контакта. Добавляя канавкообразную структуру к первой боковой поверхности, Beer et al. Удалось улучшить условия течения вблизи термически сильно нагруженной режущей кромки и тем самым добиться увеличения срока службы инструмента до 50%. Кроме того, структурирование привело к улучшению качества скважин и поверхности. Гуа и др. Кроме того, можно было минимизировать усилия подачи и износ, добавив канавки к боковой поверхности. Однако влияние различных структур на эффективность

охлаждающей смазки детально не изучено. В данной работе вычислительное гидродинамическое моделирование (CFD) используется для изучения различных структур в области первого флангового забоя.

2. Численное моделирование

Моделирование CFD является полезным инструментом для анализа и визуализации условий потока внутренне охлажденных дрели. Эти моделирования делятся на следующие этапы: создание геометрии (модель CAD), дискретизация модели CAD, определение граничных условий, итеративные вычисления и оценка результатов моделирования. Представленные здесь симуляции были проведены с помощью Ansys CFX¹.

2.1. Создание геометрии

Первым шагом моделирования было создание САПР-моделей спиральных сверл и дополнительных объемов жидкости, которые представляют собой область течения в рамках моделирования. Дизайн этих моделей был выполнен с использованием Solid-Works¹. Чтобы сократить время моделирования, был создан только сверлильный наконечник длиной, равной 1,5-кратному диаметру сверла. Результирующие отклонения температуры составляют менее 1% по сравнению с результатами, основанными на полных моделях бурения, и поэтому незначительны. Геометрические характеристики сверл приведены в таблице 1

Таблица 1. Геометрические характеристики дрели

Геометрия бурения	
Диаметр	8 мм
Диаметр канала охлаждения	1 мм
Угол буровой точки	от 140 до 140 градусов
Первый инструмент ортогонального клиренса	от 10 до 10 градусов
Второй инструмент ортогонального зазора	от 25 до 25 градусов
Ангел Helix	От 30 до 30 градусов

Все конструкции имели расстояние 150 мкм до режущей кромки и глубину 55 мкм. Конструкции S1 и S2 представляли собой полости, перпендикулярные соответственно горизонтальной основной режущей кромке. Это создавало дополнительные объемы жидкости в области первого флангового забоя. Объем жидкости двух структур был постоянным, чтобы исследовать влияние увеличенной поверхности на S1. Структуры S3 - S6 представляют собой канавчатые полости вдоль режущей кромки. На основе S3 было реализовано соединение между охлаждающим каналом и конструкцией для S5 и

S6. Для S4 и S6 в области угла режущей кромки была добавлена полость с отверстием в направлении второй боковой грани. Канавки были приспособлены к форме режущей кромки, чтобы улучшить скорость потока вблизи режущей кромки. Цель дополнительных пазов состояла в том, чтобы улучшить поток жидкости в канавки. Для конструкции S7 почти вся площадь первого флангового забоя и части второго флангового забоя были опущены.

Цель состояла в том, чтобы добиться значительно большего объема жидкости над всей первой боковой гранью и улучшить условия течения. Исследуемые структуры показаны на рис. 1.

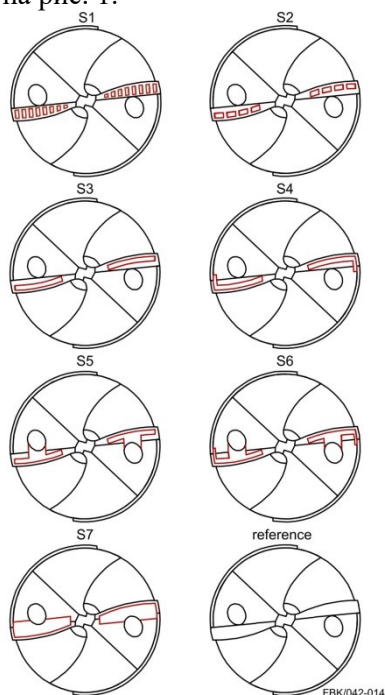


Рис.1. Исследованные структуры

На рис. 2 показано процентное увеличение поверхности сверла и процентное увеличение объема жидкости над первым боковым забоем по сравнению с эталоном.

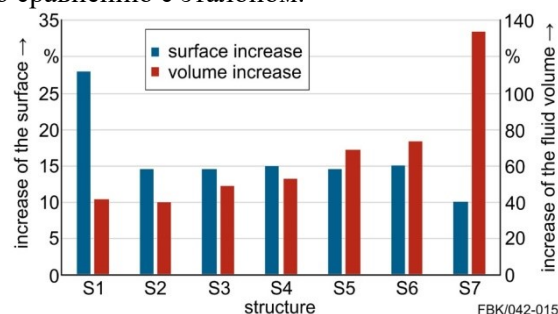


Рис. 2. Процентное увеличение поверхности и процентное увеличение объема жидкости над первой боковой гранью

В данной работе методом вычислительного гидродинамического моделирования исследовано влияние различных структур в области первого фланцевого забоя сверл на охлаждение. Моделирование показывает, что охлаждение может быть улучшено с помощью структур.

Оценка результатов моделирования проводилась путем анализа условий течения в районе первого флангового забоя.

Список литературы

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. [Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system](#) // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. [Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer](#) // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. [Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. [Mechanized spraying of liquid meliorants](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. [Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
6. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. [Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\).](#) 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.
7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. [Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.

8. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. [Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом](#) // [Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки](#). 2020. № 2 (54). С. 65-77.
9. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. [Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования](#) // [Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\)](#). 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. [Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.

References

1. Alekseev V. V., Vasiliev S. A. Application of fuzzy logic elements in the assessment of moisture availability in the plant-soil-air system // Fuzzy Technologies in Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International scientific and practical conference. Ser. "Proceedings of the CEUR seminar" 2018. pp. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasyeva I. Method of management of reclamation technologies on inclined cultivated lands using a large-scale profilometer // Engineering development of rural areas. Works. 2018. P. 537-542.
3. Maksimov I. I., Vasiliev S. A., Vasiliev A. A. Mechanized use of meliorants for soil moisture preservation on cultivated lands // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. p. 012027
4. Vasiliev A. A., Vasiliev S. A., Shkilev N. P. Mechanized atomization of liquid meliorants // Series of conferences of IOP: Science of the Earth and the environment. materials of the conference. Krasnoyarsk Scientific and Technical City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. S. 32026.
5. Alekseev V. V., Avilkin V. A., Vasiliev S. A. deriving the functional dependence of the coefficient of friction of the soil on steel // the IOP conference Series: materials Science and engineering. 2019. S. 012137.
6. The Chernukhin R. V. Dolgushin, A. A., Kasimov N. G., Ivanivsky V. V., Lobanov D. V., Vasilyev S. A., Martyushev N. In. Justification of the flow characteristics of the heat exchanger for heat training units of machines and equipment // obrabotka metallo (technology, equipment, tools). 2020. T. 22. No. 4. P. 82-93.
7. Alekseev V. V., Filippov V. P., Vasiliev S. A., Petrov A. A. The use of the volume coefficient of soil crushing for the evaluation of mechanical impact // In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. p. 032043
8. Fedorova A. A., Vasiliev M. A., Vasiliev S. A. Mathematical model of the trajectory of measuring soil surface areas by circular scanning with a laser profiler // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Volga region. Technical sciences. 2020. No. 2 (54). pp. 65-77.
9. Vasiliev S. A., Alekseev V. V., Vasiliev M. A., Fedorova A. A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020. T. 22. No. 4. P. 71-81.
10. Vasiliev S. A., Fedorova A. A., Vasiliev M. A. Investigation of the features of the profilograph for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Scientific and Technical City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. p. 32021.

УДК 621

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ: СРАВНЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СТАНКА, ИНСТРУМЕНТА И ЗАГОТОВКИ

Д.И. Михайлов¹ магистрант

¹ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н.Ульянова» Ул. Спиридона Михайлова 3,
г Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail: michailovdaniil1997@mail.ru

Аннотация

В статье описан экспериментальный метод количественной оценки доли тепловых погрешностей станка, инструмента и заготовки в общей тепловой погрешности. С этой целью деталь была впоследствии измерена, и как внутренние, так и дополнительно встроенные измерительные датчики были использованы для количественной оценки погрешности смещения. Статические погрешности также должны быть обнаружены. На основе измеренных значений тепловые состояния рассчитываются с помощью

регрессионного анализа и включаются в оценку. Процент отдельных погрешностей был рассчитан и дал четкое представление о временных последовательностях и тепловом влиянии компонентов на общую погрешность в процессе фрезерования. Результаты позволяют оценить соответствующие области, которые способствуют погрешности позиционирования. Для расчета тепловой погрешности заготовки необходимо вычесть все статические и тепловые составляющие. Статические погрешности инструмента и заготовки рассчитываются в соответствии с линейно-упругими физическими принципами. Деталь станка определена экспериментально. Для этого деформацию, обусловленную пассивной силой станка, определяют с помощью подходящей экспериментальной установки. Для определения зависимости тепловых дефектов от времени обработки контур генерируется несколько раз и измеряется после различных времен обработки.

Ключевые слова: экспериментальное исследование, тепловая погрешность, станки, фрезерование, статические погрешности, измерительные системы, датчик, тепловое состояние, смещение компонентов, контур, точки измерения.

THERMAL ERRORS IN MILLING: COMPARISON OF DISPLACEMENTS OF THE MACHINE TOOL, TOOL AND WORKPIECE

D. I. Mikhailov¹ master's student

¹ FSBEI HE Chuvash State University named after I. N. Ulyanov 3 Spiridon Mikhailov Str., Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: mikhailovdaniil1997@mail.ru

Abstract

The paper describes an experimental method for quantifying the proportions of thermal errors of the machine tool, tool and workpiece in the total thermal error. For this purpose, the workpiece was subsequently measured and both the machine-internal and additionally built-in measuring sensors were used to quantify displacement errors. The static errors must also be detected. Based on the measured values, thermal states are calculated by regression analysis and included in the evaluation. The percentages of the single errors were calculated and gave a clear statement about the time sequences and the thermal influence of the components regarding to the total error in a milling process. The results allow an assessment of relevant areas that contribute to positioning errors. To calculate the thermal error of the workpiece, it is necessary to subtract all static and thermal components. The static errors of the tool and the workpiece are calculated in accordance with the linear-elastic physical principles. The machine part is determined experimentally. For this purpose, the deformation caused by the passive force of the machine is determined using a suitable experimental setup. To determine the dependence of thermal defects on the processing time, the contour is generated several times and measured after different processing times.

Keywords: experimental investigation, thermal error, machine tools, milling, static errors, measuring systems, sensor, thermal state, offset of components, path, measurement points.

1. Введение.

Для прецизионной обработки требуется точное положение центра инструмента (ТЦР) во время процесса. Здесь большое значение имеет тепловое поведение станка. В единичных случаях было обнаружено, что до 75% геометрических погрешностей на заготовках происходит из-за тепловых воздействий. Оценили это значение с использованием испытательной детали для станков с поворотными столами. Промышленность описывает большую значимость тепловых погрешностей в станках по сравнению с геометрическими, статическими и динамическими погрешностями. Приблизительно в равных пропорциях заготовка, инструмент и конструкция станка определяются как соответствующие области для тепловых погрешностей. Необходимо найти решения для снижения тепловых деформаций, чтобы учесть требования к точности. Решения могут

быть разработаны методически с компенсацией посредством проектирования или с коррекцией на стороне управления. Прежде всего, часто необходимо определить параметры, чтобы узнать о тепловых эффектах в соответствующих узлах.

Температурные погрешности определялись с использованием экспериментальной установки на основе камеры. Возможна регистрация тепловых погрешностей и их исправление с точностью до 10 мкм. Путем экспериментального и численного анализа температурного поля станка можно определить тепловые смещения. Для этого можно использовать экспериментальную или численную модель.

Алгоритм, предсказывающий тепловые погрешности, можно обучить с помощью нейронной сети. С помощью численного подхода была реализована методика самообучения для активной компенсации тепловых погрешностей. Используется метод

взвешенных наименьших квадратов. Параметры модели активно адаптируются к текущим условиям машины.

Сенсорные и бесконтактные измерительные системы могут использоваться для измерения теплового удлинения шпинделей во время обработки. Удлинение шпинделя может достигать 13 мкм. Для этого используется экспериментальная установка для измерения тепловых смещений, потому что конкретные температуры нелегко зафиксировать и воспроизвести. На температуру влияют внутренние и внешние факторы. К внутренним факторам относятся, например, отходящее тепло от двигателей или трение в подшипниках. Внешними факторами являются меняющиеся климатические условия в заводском цехе.

Целью данной работы является определение величины тепловых погрешностей во время процесса фрезерования и процентного отношения станка, заготовки и инструмента к общей погрешности. Был выбран экспериментальный подход, поскольку численный расчет не дает достаточно точных результатов из-за слишком сложной системы «станок». Для этого был разработан системный подход. Метод представлен и на примере выполнен с анализом тепловых погрешностей по оси Z.

2. Экспериментальный подход

Необходимо разработать испытательную установку для определения неточности обработки, вызванной термическим воздействием, и процента от общей погрешности. С помощью представленного здесь метода погрешности могут быть определены по всем трем пространственным направлениям. На рис. 1 представлена основная классификация измерительных задач. Температурные погрешности станка и инструмента регистрируются с помощью двух датчиков вихревых токов в каждом пространственном направлении. Относительные движения, вызванные термическим воздействием, можно регистрировать путем измерения конструкции инструмента и станка. Измерение в осевом направлении показывает погрешность по Z-направлению. Расположение датчиков в плоскости X-Z обнаруживает погрешность по оси X.

Погрешности детали определяются путем их измерения с помощью машинного щупа. Для этого определяются точки измерения вдоль фрезерованной геометрии, и формируется

разница между номинальным и фактическим значением. Ошибки по всем пространственным направлениям реализуются путем обработки трех взаимно перпендикулярных боковых поверхностей. Все погрешности приводят к общей неточности. С ними связаны проценты погрешности.

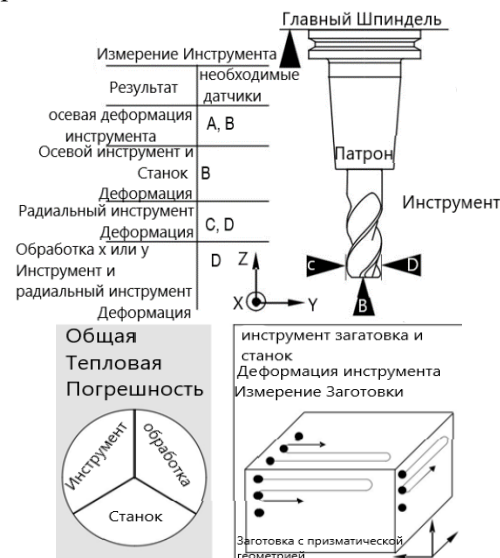


Рис.1. Устройство датчика перемещения для определения зависящих от времени тепловых погрешностей.

Эта взаимосвязь проиллюстрирована на рис. 1. Три составляющих погрешности вместе дают общую погрешность, которую можно определить экспериментально.

Помимо тепловых погрешностей, также возникают статические составляющие, которые могут быть связаны с силами процесса. Они записываются во время измерений на заготовке, определяются расчетами и другими измерениями и исключаются во время оценки.

Эксперименты можно разделить на два состояния: их можно разделить на холодное и теплое состояние. Холодное состояние преобладает перед обработкой, если вся система находится при комнатной температуре. После нагрева системы за счет обработки система находится в теплом состоянии.

Измерение в холодном состоянии служит для формирования ссылки, для определения нулевого уровня. Затем с помощью измерения в теплом состоянии можно сделать вывод о смещении компонентов.

Для более подробного объяснения процедура представлена на примере погрешности по оси Z. Во-первых, в этом исследовании используется трехосевой станок с инфракрасным датчиком и устройством смены инструмента.

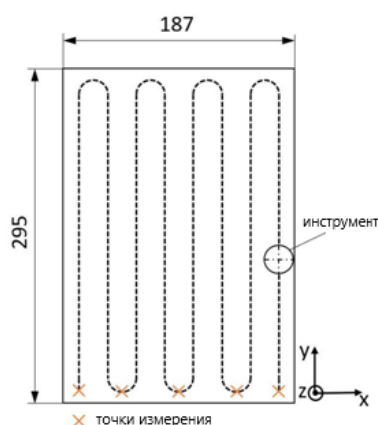


Рис. 2. Контур фрезерования.

Следующим этапом является выбор подходящей заготовки и контура. В данном случае использовалась заготовка из S235JR. Благодаря использованию этого материала и параметров, приведенных в таблице 1, можно вызвать температурные градиенты, для которых методика измерения может быть отлично протестирована, при этом выбор материала играет второстепенную роль. На этом дорожки фрезеровались трехгранной концевой фрезой. В следующей таблице приведены условия обработки и эксперименты:

Таблица 1- Условия обработки.

Станок	DMG Mori DMC850v
Инструмент	Seco Combimaster R217.63
Скорость резания	200 м/мин
Подача на зуб	0,05 мм/зуб
Диаметр инструмента	25 мм
Зубы	3
Глубина резания	0,5 мм
Ширина реза	25 мм

Для определения теплового перемещения станка и инструмента используются два вихретоковых датчика, которые соединены друг с другом. Таким образом, машина и инструмент могут быть измерены одновременно. До и после обработки измерительные точки на станке ТСП сближаются, и определяется их соответствующее положение (холодное и теплое состояние). Разностное образование

Список литературы:

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. [Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system](#) // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. [Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer](#) // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.

измеренных величин дает информацию о движении, вызванном теплом.

Данные измерительной точки на ТСП описывают движение наконечника инструмента. Однако сюда же относится и смещение станка, так как инструмент зажат в нем.

На рис. 3 показана экспериментальная установка, которая использовалась в испытательном поле. Погрешность заготовки определяется сканированием ее с помощью станкового зонда. Заготовка измеряется только в холодном состоянии. Это происходит после длительной фазы охлаждения, когда процесс измельчения был завершен. Все тепловые и статические погрешности проецируются на заготовку.



Рис.3. Измерение тепловых погрешностей станка и инструмента.

Для расчета тепловой погрешности заготовки необходимо вычесть все статические и тепловые составляющие. Статические погрешности инструмента и заготовки рассчитываются в соответствии с линейно-упругими физическими принципами. Деталь станка определена экспериментально.

3. Резюме и перспективы.

В этом исследовании представлена методология экспериментального определения погрешностей термической обработки в процессе обработки. С помощью этого метода можно обнаружить смещения всех трех пространственных направлений, но без угловых ошибок.

3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. [Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. [Mechanized spraying of liquid meliorants](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. [Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
6. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. [Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования](#) // [Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\)](#). 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.
7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. [Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
8. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. [Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом](#) // [Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки](#). 2020. № 2 (54). С. 65-77.
9. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. [Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования](#) // [Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\)](#). 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. [Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.
11. Putz M. et al. Thermal errors in milling: Comparison of displacements of the machine tool, tool and workpiece // / Procedia CIRP 82 (2019) 389–394

References

1. Alekseev V. V., Vasiliev S. A. Application of fuzzy logic elements in the assessment of moisture availability in the plant-soil-air system // Fuzzy Technologies in Industry - FTI 2018. Proceedings of the Second International Scientific and practical Conference. Ser. "Proceedings of the CEUR seminar" 2018. pp. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasyeva I. Method of management of reclamation technologies on inclined cultivated lands using a large-scale profilometer // Engineering development of the village. Works. 2018. P. 537-542.
3. Maksimov I. I., Vasiliev S. A., Vasiliev A. A. Mechanized use of meliorants for soil moisture preservation on cultivated lands // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. p. 012027
4. Vasiliev A. A., Vasiliev S. A., Shkilev N. P. Mechanized atomization of liquid meliorants // Series of conferences of IOP: Science of the Earth and the environment. materials of the conference. Krasnoyarsk Scientific and Technical City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. S. 32026.
5. Alekseev V. V., Avilkin V. A., Vasiliev S. A. deriving the functional dependence of the coefficient of friction of the soil on steel // the IOP conference Series: materials Science and engineering. 2019. S. 012137.
6. The Chernukhin R. V. Dolgushin, A. A., Kasimov N. G., Ivanivsky V. V., Lobanov D. V., Vasilyev S. A., Martyushev N. In. Justification of the flow characteristics of the heat exchanger for heat training units of machines and equipment // obrabotka metallo (technology, equipment, tools). 2020. T. 22. No. 4. P. 82-93.
7. Alekseev V. V., Filippov V. P., Vasiliev S. A., Petrov A. A. The use of the volume coefficient of soil crushing for the evaluation of mechanical impact // In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. p. 032043
8. Fedorova A. A., Vasiliev M. A., Vasiliev S. A. Mathematical model of the trajectory of soil surface areas by circular scanning with a laser profiler // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Volga region. Technical sciences. 2020. No. 2 (54). pp. 65-77.
9. Vasiliev S. A., Alekseev V. V., Vasiliev M. A., Fedorova A. A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020. T. 22. No. 4. P. 71-81.
10. Vasiliev S. A., Fedorova A. A., Vasiliev M. A. Investigation of the features of the profilograph for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Scientific and Technical City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. S. 32021.
11. Putz M. et al. Thermal errors in milling: Comparison of machine, tool, and workpiece movements // / Procedia CIRP 82 (2019) 389-394

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ КУЛАЧКОВОГО ИНСТРУМЕНТА

П.В. Потянов¹, магистрант

¹ФГБОУ ВО Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, ул. Спиридона Михайлова 3, г. Чебоксары, Российская федерация, 428015, e-mail: potyanovpasha@mail.ru

Аннотация

Помимо подходов, основанных на опыте и экспертных знаниях в области проектирования технологических процессов, а также использования программного обеспечения САМ, в последнее время все чаще используются имитационные модели для детального анализа условий обработки. Что касается планирования процесса, то знание результирующих сил резания имеет важное значение для определения критических точек вдоль траектории движения инструмента. Современные кулачковые системы способны создавать траекторию движения инструмента на основе максимально постоянных геометрических условий зацепления в дополнение к обычному, заранее определенному делению траектории. Аналитическая модель резания позволяет рассчитать результирующие силы вдоль всей траектории инструмента без необходимости предварительного тщательного тестирования и идентификации параметров. Тем не менее материал и параметры трения используемых материалов должны быть определены. С этой целью были проведены испытания материалов и трения. Представлены результаты применения аналитической модели механической обработки для формирования оптимизированных траекторий движения инструмента при сохранении кинетически постоянных интерференционных условий при фрезеровании. Выявлен оптимизационный потенциал, позволяющий значительное повышение качества и точности обработки, а также снижение износа инструмента и предотвращение преждевременной поломки инструмента.

Ключевые слова: механическая обработка; траектория инструмента; силовая модель; кулачковые системы; аналитическая модель

USING MODEL BASED ANALYTIC CUTTING FORCE PREDICTION IN CAM TOOLPATH GENERATION

P.V. Potanov¹ master's student

¹FSBEI HE Chuvash State University I.N. Ulyanov, Spiridon Mikhailov Str. 3, Cheboksary, Russian Federation, 428015, e-mail: potyanovpasha@mail.ru

Abstract

In addition to approaches based on experience and expertise in process design and the use of CAM software, simulation models are increasingly being used for detailed analysis of processing conditions. In terms of process planning, knowledge of the resulting cutting forces is essential for determining critical points along the toolpath. Modern cam systems create a path based on maximally constant geometrical engagement conditions in addition to the usual predefined path division. The analytical cutting model allows the assumed forces to be calculated along the entire tool path without prior testing and parameter verification. However, the material and friction parameters of the materials used must be determined. Providing the results of applying an analytical model of machining to create optimized trajectories while maintaining kinetically constant interference conditions while maintaining. The optimization potential has been revealed, which makes it possible to significantly improve the quality and accuracy of processing, increase tool wear and prevent premature tool breakage.

Key words: machining; tool path; power model; cam systems; analytical mode.

1. Безопасное, систематическое и, прежде всего, эффективное проектирование современных производственных систем в значительной степени зависит от знания и понимания взаимодействий на стыке структуры станка и процесса обработки.

Помимо подхода, основанного на эмпирических значениях и экспертных

знаниях при проектировании технологических процессов и использовании автоматизированных методов планирования траекторий программирования ЧПУ, в последнее время все чаще используются имитационные модели, так называемые виртуальные механообработки [1]. Эти имитационные системы используются для

исследования и разработки основ генерация траекторий инструмента [4-8] и др. Кроме того, были разработаны стратегии, обеспечивающие либо полное избегание, либо последующее устранение малодоступных участков материала, оставшихся после обработки [4, 5, 8]. В частности, обсуждаются принципы формирования траекторий движения инструмента при обработке сложных поверхностей. [6, 7]. Параллельно с моделями были также сделаны разработки по оптимизации различных траекторий движения инструмента [9-13] и др. Для этого были использованы различные алгоритмы оптимизации, в том числе генетические и многокритериальные алгоритмы [11-13].

Современные кулачковые системы способны создавать траекторию движения инструмента на основе максимально постоянных геометрических условий зацепления в дополнение к обычному, заранее определенному делению траектории [14, 15]. Делается попытка сохранить угол обертывания инструмента как можно более постоянным. Несмотря на такой подход, значительные изменения кинетической характеристики резания на отдельных сегментах траектории инструмента, а также на холостом ходу пути не всегда можно избежать. В этом случае пики силы резания могут происходить далеко за пределами номинальных размеров. Это приводит к повышенному износу инструмента и повышенному риску поломки инструмента, а также влияет на точность и качество обрабатываемых деталей из-за значительного и в основном неконтролируемого смещения инструмента. Кратковременные пики силы и колебания глубины резания приводят при неблагоприятных обстоятельствах к нестабильности процесса или поломке инструмента из-за перегрузки. Возможным улучшением может быть переход от геометрической постоянной к кинетической постоянной условий зацепления между инструментом и заготовкой. Здесь заложен оптимизационный потенциал, позволяющий значительно повысить качество и точность обработки, а также снизить износ инструмента и избежать преждевременной поломки инструмента. Оптимизационный алгоритм формирования траектории движения инструмента с минимальным усилием резания обсуждается в работе [16]. Однако использование подобных алгоритмов требует предварительного определения силы резания или ее составляющих в каждой точке траектории, чтобы уметь адаптировать и

оптимизировать траекторию на основе полученных результатов. В алгоритме оптимизации [16] сила резания определяется эмпирическим решением [17]. Это решение широко используется при формировании траектории движения инструмента и оптимизации различных процессов обработки, особенно процессов фрезерования [18, 19].

В подавляющем большинстве случаев такие процессы сопровождаются сильно меняющимися условиями взаимодействия инструмента и заготовки, а также динамично меняющимися технологическими параметрами. Это, в свою очередь, затрудняет использование определение сил резания основано на эмпирических решениях, поскольку известные эмпирические решения справедливы только для определенного, фиксированного набора параметров и условий резания и только для определенной геометрии инструмента. Аналитические модели резки [20, 21] не страдают от этих недостатков. Решающим преимуществом аналитических моделей является гораздо более общая формулировка. Эта формулировка обеспечивает достоверный прогноз силы резания в любое время, даже при сильно меняющихся условиях взаимодействия и резания, без сложных серия испытаний. В отличие от эмпирических и, особенно, численных моделей, аналитические модели механической обработки могут быть очень хорошо реализованы в среде планирования траектории кулачкового инструмента. Использование аналитической модели резания позволяет прогнозировать силу резания в разумные сроки и вычислительные усилия во всех интересующих периодах. Это использование является достаточным с точки зрения точности и универсальности. Оптимизированное планирование траектории движения инструмента и разделение траектории на основе кинетических величин или с учетом силы резания, действующей в данный момент в таком образом, каждая точка траектории инструмента становится возможной на следующем этапе.

В данной работе представлены результаты применения аналитической модели механической обработки для формирования оптимизированных траекторий движения инструмента при сохранении кинетически постоянных интерференционных условий при фрезеровании.

2. Аналитическая модель

Для анализа механизмов резания обычно существуют два фундаментальных принципа

[21]: принцип максимального напряжения сдвига и принцип минимальной энергии. Модель резания разработана с использованием вариационных принципов теории пластичности, в частности принципа минимальной потенциальной энергии. Именно поэтому последний принцип будет принят в качестве отправной точки для создания модели ортогонального резания с одной плоскостью сдвига, в которой поле скоростей пластического течения обрабатываемого материала разрывается. Модель разработана для ортогональной резки пластических материалов, таких как инженерные и легированные стали, а также сплавов, образующих преимущественно текучую стружку при механической обработке - рис.1.

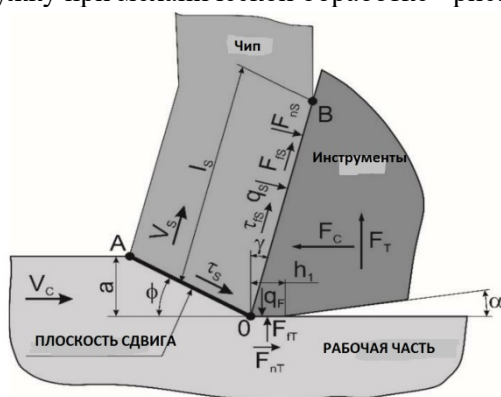


Рис 1. Макет модели для ортогонального раскраива одинарными ножницами

Для применения принципа минимальной энергии рассматриваются три энергии:

Список литературы

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. [Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system](#) // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. [Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer](#) // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. [Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. [Mechanized spraying of liquid meliorants](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associa
5. tions. 2020. С. 32026.
6. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. [Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
7. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. [Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\).](#) 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.
8. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. [Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
9. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. [Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.](#) 2020. № 2 (54). С. 65-77.
10. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. [Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\).](#) 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.

Энергия стружкообразования в первичной зоне резания - W_s , Энергия трения во вторичной зоне резания - W_{es} , Энергия трения в третичной зоне резания - W_{fr} . Сумма энергий должна стремиться к минимуму в соответствии с применяемым вариационным принципом, поэтому можно постулировать следующее уравнение баланса мощности резания.

Кроме того, аналитическая модель обработки используется в среде моделирования, которая может предсказывать средние силы резания для упрощенных виртуальных операций обработки. Генерация оптимизированных траекторий движения инструмента возможна на основе результатов этих имитационных запусков.

Современные кулачковые системы для планирования траектории инструмента с ЧПУ способны создавать сложные сегменты траектории инструмента, которые обеспечивают почти постоянное зацепление инструмента, сохраняя углы обертывания на постоянном уровне, если это возможно. Тем не менее, значительных колебаний и пиковых отклонений в кинетических характеристиках резания, а также бесплатных туристических пакетов полностью избежать невозможно. Возможным улучшением планирования траектории движения инструмента с ЧПУ может быть переход от геометрической постоянной к кинетической постоянной условий зацепления.

11. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. [Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.
12. Braun S. et al. Using model based analytic cutting force prediction in CAM toolpath generation / Procedia CIRP 82 (2019) 467–472 Using

Referets

1. Alekseev V. V., Vasiliev S. A. Application of fuzzy logic elements in the assessment of moisture availability in the plant-soil-air system // Fuzzy Technologies in Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International scientific and practical conference. Ser. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. pp. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasyeva I. Method of management of reclamation technologies on inclined cultivated lands using a large-scale profilometer // Engineering development of the village. Works. 2018. P. 537-542.
3. Maksimov I. I., Vasiliev S. A., Vasiliev A. A. Mechanized use of meliorants for soil moisture preservation on cultivated lands // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. p. 012027.
4. Vasiliev A. A., Vasiliev S. A., Shkilev N. P. Mechanized atomization of liquid meliorants // Series of conferences of IOP: Science of the Earth and the environment. materials of the conference. Krasno-Yar Scientific and Technical City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. S. 32026.
5. Alekseev V. V., Avrelkin V. A., Vasiliev S. A. Obtaining the functional dependence of the soil friction coefficient on steel // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. S. 012137.
6. The Chernukhin R. V. Dolgushin, A. A., Kasimov N. G., Ivanivsky V. V., Lobanov D. V., Vasilyev S. A., Martyushev N. In. Justification of the flow characteristics of the heat exchanger for heat training units of machines and equipment // obrabotka metallov (technology, equipment, tools). 2020. T. 22. No. 4. P. 82-93.
7. Alekseev V. V., Filippov V. P., Vasiliev S. A., Petrov A. A. The use of the volume coefficient of soil crushing for the evaluation of mechanical impact // IOP Conference Series: Earth and Environment. 2019. p. 032043.
8. Fedorova A. A., Vasiliev M. A., Vasiliev S. A. Mathematical model of the trajectory of measuring soil surface areas by circular scanning with a laser profiler // Izvestiya vysshnykh uchebnykh zavedeniy. Volga region. Technical sciences. 2020. No. 2 (54). pp. 65-77.
9. Vasiliev S. A., Alekseev V. V., Vasiliev M. A., Fedorova A. A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020. T. 22. No. 4. P. 71-81.
10. Vasiliev S. A., Fedorova A. A., Vasiliev M. A. Investigation of the features of the profilograph for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Scientific and Technical City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. p. 32021.
11. Brown S. et al. Using a model based on analytical forecasting of the cutting force in the tool path generation CAM / Procedia CIRP 82 (2019) 467-472 Using

УДК 621.923

АНАЛИЗ ПОТОКОВ ОТКАЗОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПОТОКОВ ВОССТАНОВЛЕНИЙ РЕЗЬБОНАРЕЗНЫХ МОДУЛЕЙ

А.А. Тимошенко¹ студент, А.О. Харченко² канд. техн. наук,
Е.А. Владецкая³ канд. техн. наук

¹ ФГАОУ 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: khao@list.ru

³ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: vladetska@rambler.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследований в направлении совершенствования оборудования для внутренней резьбообработки деталей в условиях гибкого автоматизированного производства. Рассмотрены методы оценки эксплуатационной надежности оборудования, которые необходимы при разработке методики синтеза гибких производственных модулей (ГПМ) в условиях автоматизированного проектирования. Технологическую систему ГПМ резьбообработки предложено рассматривать как систему, в которой переходы из состояния в состояние происходят под действием простейших потоков с параметрами вероятностей перехода непрерывной цепи Маркова. Разработанная математическая модель, описывающая состояния ГПМ с учетом отказов функционирования его технологических элементов, позволяет отразить влияние на работу модуля параметров потоков отказов и потоков восстановлений, инструмента, станка,

приспособления, загрузочного устройства. Структура модели и размеченный граф состояний системы могут совершенствоваться по мере уточнения числа параметров и характеристик. Решение полученной системы уравнений финальных вероятностей с помощью условия нормировки позволяет для заданных (или полученных экспериментально) интенсивностей потоков отказов функционирования для ГПМ резьбообработки получить значения вероятности его безотказной работы, а также вероятностей нахождения системы в нерабочем состоянии по причине соответствующих отказов. Проведенные мероприятия позволяют решить задачу синтеза на уровне структурно-компоновочной оптимизации, чтобы затем на этапе параметрического синтеза определить уязвимые по выработанному критерию элементы, усовершенствование которых приведет к созданию наиболее эффективной системы.

Ключевые слова: эксплуатационная надежность, внутренняя мелкоразмерная резьбообработка, технологические элементы модуля, гибкий производственный модуль (ГПМ) резьбообработки, простейший поток, цепь Маркова, вероятность безотказной работы.

ANALYSIS OF FUNCTIONAL FAILURE STREAMS AND FLOWS RESTORATION OF THREADING MODULES

A.A. Timoshenko¹ student, A.O. Kharchenko² cand. sc. tech.,
E.A. Vladetskaya³ cand. sc. tech.

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

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

³FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,
e-mail: vladetska@rambler.ru

Abstract

The article presents the results of research in the direction of improving equipment for internal threading of parts in flexible automated production. Methods for assessing the operational reliability of equipment, which are necessary when developing a method for the synthesis of flexible manufacturing module (FMM) in conditions of computer-aided design, are considered. It is proposed to consider the technological system of FMM threading as a system in which transitions from state to state occur under the action of the simplest flows with the parameters of the transition probabilities of a continuous Markov chain. The developed mathematical model, which describes the state of the FMM, taking into account the failures of the functioning of its technological elements, makes it possible to reflect the influence on the operation of the module of the parameters of the flows of failures and flows of restorations, a tool, a machine tool, a device, a loading device. The structure of the model and the labeled graph of the states of the system can be improved as the number of parameters and characteristics is refined. The solution of the resulting system of equations of final probabilities using the normalization condition allows for given (or experimentally obtained) rates of failure flows of functioning for FMM threading to obtain the values of the probability of its failure-free operation, as well as the probabilities of finding the system in an inoperative state due to corresponding failures. The measures taken make it possible to solve the synthesis problem at the level of structural and layout optimization, so that then at the stage of parametric synthesis to determine the elements vulnerable according to the developed criterion, the improvement of which will lead to the creation of the most efficient system.

Keywords: operational reliability, internal small-sized thread processing, technological elements of the module, flexible manufacturing module (FMM) threading, simple flow, Markov chain, probability of failure-free operation.

1. Введение

При создании элементов гибких производственных модулей (ГПМ) резьбообработки следует учитывать влияние потоков отказов (параметрических и функциональных), а также потоков переналадки на выходные показатели системы. Необходимо связать в единое целое параметры переналадки технологических элементов модуля с эксплуатационной и технологической надежностью, описать процесс формирования

показателей как результат их взаимодействия в реальных условиях функционирования резбонарезного оборудования. Влияние эксплуатационной надежности на производительность и экономическую эффективность оценивается с помощью введения коэффициента готовности либо коэффициента технического использования [1, 2].

Получение указанной оценки представляет практический интерес, однако не учитывает всех аспектов, связанных с

отказами функционирования различных элементов.

В данной работе уделено особое внимание подходу к оценке эксплуатационной надежности системы с учетом потоков отказов функционирования и потоков восстановления подсистем и элементов на примере гибких производственных модулей (ГПМ) резьбообработки с помощью теории массового обслуживания.

2. Основная часть

На основе принятых допущений с учетом проведенного анализа работы резьбонарезных модулей для оценки вариантов выбранных структур необходимо рассмотреть особенности возникновения отказов функционирования и отказов, то есть эксплуатационную надежность модуля. Каждый элемент технологической системы может иметь различные интенсивности восстановления μ , так же как и различные интенсивности отказов λ , т.е. разную надежность. При этом более сложный элемент при одинаковом λ может иметь меньшее значение μ (меньшую надежность), либо при одинаковом μ большее значение λ , чем менее сложный элемент. Это необходимо учесть при выборе критериев оценки эффективности модуля.

Рассматривая резьбонарезной модуль как дискретную систему, примем, что элементы отказывают независимо друг от друга, причем каждый элемент после отказа восстанавливается. Будем считать, что исходные свойства элемента никак не влияют на надежность других элементов. Моменты отказов каждого элемента образуют процесс восстановления, причем в силу наших предположений, эти процессы независимы. Обозначим через $F_k(t)$ закон распределения времени жизни k -го технологического элемента. Предполагаем, что эти законы имеют непрерывную плотность $f_k(t)$ и существуют среднее время жизни технологического элемента T_k и его дисперсия σ_k^2 .

Поскольку элементы в системе модуля соединены (в смысле надежности) последовательно, то отказ любого элемента вызывает отказ системы. Появление отказов на одном участке времени не меняет (точнее почти не меняет) вероятности появления какого-либо числа отказов на другом участке, не пересекающимся с первым. Из этих физических соображений следует, что при сделанных выше предположениях в потоке отказов технологической системы модуля

должно отсутствовать последствие. Кроме того, мы предположили выше, что законы распределения $F_k(t)$ имеют непрерывные плотности. Отсюда следует, что $H(t)$ – среднее число отказов – непрерывна и поток отказов системы модуля является ординарным, т.е. вероятность одновременного появления двух отказов равна нулю. В теории массового обслуживания доказывается, что ординарный поток с непрерывной функцией $H(t)$, в котором отсутствует последовательность, является простейшим нестационарным потоком. Это значит, что вероятность появления n отказов на любом участке (t_1, t_2) выражается формулой

$$P_n(t_1, t_2) = \frac{[H(t_2) - H(t_1)]^n}{n!} e^{-[H(t_2) - H(t_1)]} \quad (1)$$

и для любой системы неперекрывающихся интервалов события, заключающиеся в появлении заданного числа отказов на каждом интервале, независимы. Итак, показано, что при достаточно общих условиях поток отказов технологической системы модуля будет простейшим нестационарным потоком. Из предыдущей формулы видно, что число отказов на каждом интервале распределено по закону Пуассона (пуассоновский поток с переменным параметром). Этим переменным параметром является интенсивность отказов $\lambda(t)$. Тогда формулу (1) можно записать в виде:

$$P_n(t_1, t_2) = \frac{[\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt]^n}{n!} e^{-\int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt} \quad (2)$$

Если на участке $(t, t+\tau)$ функция $\lambda(t)$ приближенно линейна, то хорошее соответствие для этих вероятностей дает равенство:

$$P_n(t_1, t_2) \approx \frac{[\lambda(t + \frac{\tau}{2})\tau]^n}{n!} e^{-\lambda(t + \frac{\tau}{2})\tau} \quad (3)$$

Если же функция $\lambda(t)$ на этом участке приближенно постоянна, $\lambda(t) \approx \lambda$, то

$$P_n(t_1, t+\tau) \approx \frac{(\lambda\tau)^n}{n!} e^{-\lambda\tau} \quad (4)$$

Так как на участках между соседними отказами $\lambda(t)$ почти не меняется, то среднее время до первого отказа технологического элемента выражается приближенной формулой

$$\overline{T_p} \approx 1 / \lambda(t).$$

Как правило, работа технологической

системы ГПМ продолжается достаточно долго, вследствие чего элементы (станок, инструмент, приспособление, загрузочное устройство) могут отказать по нескольку раз. Так, инструмент в процессе недельной эксплуатации отказывает в среднем 120...140 раз. При этих условиях процессы восстановления становятся стационарными и, следовательно, поток отказов системы также устанавливается. Так как плотности восстановления для каждого элемента стремятся к пределам $\lim_{t \rightarrow \infty} \mu_k(t) = 1/\overline{T_k'}$, то интенсивность отказов системы имеет предел $\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = \lambda_0 = \sum_{k=1}^m 1/\overline{T_k'}$, где m – число технологических элементов. При этом поток системы становится пуассоновским потоком с постоянным параметром, т.е. простейшим потоком. Для этого потока вероятность появления n отказов на участке времени длительности τ не зависит от положения этого участка и выражается формулой:

$$P_n(\tau) = \frac{(\lambda_0 \tau)^n}{n!} = e^{-\lambda_0 \tau}. \quad (5)$$

В частности, вероятность безотказной работы системы модуля в течение времени τ равна $P_0(\tau) = e^{-\lambda_0 \tau}$, следовательно, среднее время безотказной работы равно $\bar{T} = 1/\lambda_0$. Поскольку число отказов, появляющихся в заданном интервале времени, имеет пуассоновское распределение, то время между отказами имеет экспоненциальное распределение, т.е. надежность каждого технологического элемента в системе модуля подчиняется экспоненциальному закону:

$$F_k(t) = 1 - e^{-\lambda_k t}. \quad (6)$$

Процесс восстановления для каждого элемента будет образовывать простейший поток и поток восстановления системы модуля как сумма простейших потоков также будет потоком простейшим.

Приведенные доводы и рассуждения вполне справедливы при рассмотрении эксплуатационной надежности (отказов функционирования) технологической системы ГПМ резьбообработки. С учетом вышеприведенных доводов технологическую систему ГПМ резьбообработки рассмотрим, как физическую дискретную систему, которая может находиться в состояниях S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 . Состояние S_0 характеризует нормальное функционирование модуля при отсутствии отказов.

В состоянии S_1 требуется замена

вышедшего из строя инструмента вследствие потока отказов его функционирования с интенсивностью λ_1 . В этом случае $\lambda_1 = 1/\overline{T_{11}'}$, где $\overline{T_{11}'}$ – среднее время между двумя отказами функционирования, мин. Состояние S_2 характеризуется выходом из строя станка (в том числе резбонарезной головки) из-за потока отказов с интенсивностью λ_2 . При этом $\lambda_2 = 1/\overline{T_{22}'}$, где $\overline{T_{22}'}$ – среднее время между двумя отказами функционирования станка, мин.

В состоянии S_3 требуется ремонт вышедшего из строя приспособления вследствие потока отказов с интенсивностью λ_3 . В этом случае $\lambda_3 = 1/\overline{T_{33}'}$, где $\overline{T_{33}'}$ – среднее время между двумя отказами функционирования приспособления, мин.

Состояние S_4 характеризуется выходом из строя загрузочного устройства вследствие потока отказов функционирования с интенсивностью λ_4 . При этом $\lambda_4 = 1/\overline{T_{44}'}$, где $\overline{T_{44}'}$ – среднее время между двумя отказами функционирования загрузочного устройства, мин.

Величины $\overline{T_{11}'}, \overline{T_{22}'}, \overline{T_{33}'}, \overline{T_{44}'}$ определяются по общей формуле:

$$\overline{T_j'} = \sum_{j=1}^m t_j/m, \quad (7)$$

где m – число отказов функционирования соответствующего технологического элемента ГПМ резьбообработки; t_j – интервал времени между $(j-1)$ -й и j -й заявками.

Каждый технологический элемент модуля подвергается восстановлению сразу после отказа. Интенсивность восстановления соответственно для каждого технологического элемента будет $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$, считая при этом, что время восстановления, являясь случайной величиной, подчиняется закону Пуассона.

В этом случае $\mu_1 = 1/\overline{T_{11}''}$, $\mu_2 = 1/\overline{T_{22}''}$, $\mu_3 = 1/\overline{T_{33}''}$, $\mu_4 = 1/\overline{T_{44}''}$, где $\overline{T_{11}''}$ – среднее время восстановления (замены) инструмента, мин; $\overline{T_{22}''}$ – среднее время восстановления (ремонта) элементов станка, в том числе резбонарезной головки, мин; $\overline{T_{33}''}$ – среднее время восстановления (ремонта) приспособления, мин; $\overline{T_{44}''}$ – среднее время восстановления (ремонта) загрузочного устройства, мин.

Для описания размеченного графа состояний технологической системы ГПМ резьбообработки с учетом отказов функционирования (рис. 1) обозначим:

P_0 – вероятность исправной работы модуля, $P_0 = P(S_0)$;

P_1, P_2, P_3, P_4 – соответственно вероятности поломки (выхода из строя) инструмента,

элементов станка и резьбонарезной головки, приспособления, загрузочного устройства.

Уравнения для финальных вероятностей P_0, P_1, P_2, P_3, P_4 состояний S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 представляются в виде системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) &= P_1\mu_1 + \\ &+ P_2\mu_2 + P_3\mu_3 + P_4\mu_4 \\ P_1\mu_1 &= P_0\lambda_1 \\ P_2\mu_2 &= P_0\lambda_2 \\ P_3\mu_3 &= P_0\lambda_3 \\ P_4\mu_4 &= P_0\lambda_4' \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

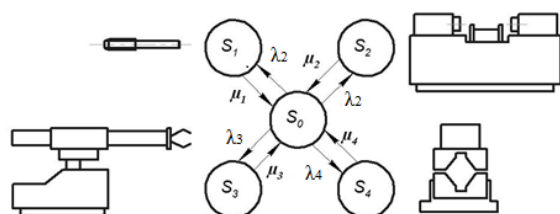


Рис. 1 – Размеченный граф состояний технологической системы ГПМ резьбообработки с учетом отказов функционирования

Решение полученной системы уравнений с помощью условия нормировки $P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$ позволяет получить выражения для вероятности безотказной работы (P_0), а также вероятностей нахождения системы в нерабочем состоянии по причине соответствующих поломок (выхода из строя) инструмента (P_1), элементов станка (P_2), приспособления (P_3), загрузочного устройства (P_4):

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= (1 + \lambda_1/\mu_1 + \lambda_2/\mu_2 + \lambda_3/\mu_3 + \lambda_4/\mu_4)^{-1} \\ P_1 &= P_0\lambda_1/\mu_1 \\ P_2 &= P_0\lambda_2/\mu_2 \\ P_3 &= P_0\lambda_3/\mu_3 \\ P_4 &= P_0\lambda_4/\mu_4 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Список литературы

1. Харченко А.О. Структурно-компоновочный синтез подсистем модулей для внутренней резьбообработки / А.О. Харченко, А.А. Харченко // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2020. № 4-2 (342). – С.85-94. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-2-85-94.
2. Долгин В.П. Надежность технических систем: Учеб. пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – М: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 167 с.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
4. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell / Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. // Soviet engineering research, 1987. – 7(2), P. 48-52.
5. Мерзлов А.В. Разработка критерия эффективности при оптимизации структур станочных модулей / А.В. Мерзлов, А.О. Харченко, А.А. Харченко // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей

3. Заключение

Разработанная математическая модель, описывающая состояния ГПМ резьбообработки с учетом отказов функционирования его технологических элементов, а также восстановлений после указанных отказов, позволяет учесть эксплуатационную надежность инструмента, станка, приспособления, загрузочного устройства при выборе оптимальной структуры модуля. При синтезе технологических элементов ГПМ резьбообработки целесообразно использовать методы структурной и параметрической оптимизации, основными этапами которой являются формирование множества структур ГПМ, оценка вариантов структур по укрупненным показателям, оценка вариантов с учетом стохастических процессов, выявление уязвимых мест в технологической системе, разработка и совершенствование уязвимых с точки зрения надежности и эффективности переналадки элементов, оценка эффективности системы с учетом её изменений, реализация системы [4, 5]. Структура модели и граф состояний системы могут совершенствоваться по мере уточнения числа параметров и характеристик. Проведенные мероприятия позволяют решить задачу синтеза на уровне структурно-компоновочной оптимизации, а затем, на этапе параметрического синтеза целесообразно определить уязвимые по выработанному критерию технологические элементы [6, 7], усовершенствование которых приведет к созданию наиболее эффективной системы.

Всероссийской научно-практической конференции (20 - 23 мая 2019 г.), Севастополь: ФГАОУ ВО «СевГУ», 2019. – С. 97-100.

6. Нахапетян Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства / Е.Г. Нахапетян. – М.: Наука, 1985. – 224 с.

7. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рошупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с.

References

1. Kharchenko A.O. Structural-layout synthesis of subsystems of modules for internal thread processing / A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology]. - Oryol: FSBEI VO "OSU named after I.S. Turgenev", 2020. No. 4-2 (342). – pp. 85-94. DOI: 10.33979 / 2073-7408-2020-342-4-2-85-94.
2. Dolgin V.P. *Nadezhnost' tekhnicheskikh system* [Reliability of technical systems]: Textbook. / V.P. Dolgin, A.O. Kharchenko. – M.: University textbook: INFRA-M, 2017. – 167 p.
3. Wentzel E.S. *Teoriya veroyatnostey i yeye inzhenernyye prilozheniya* [Probability theory and its engineering applications] / E.S. Wentzel, L.A. Ovcharov. – M.: Higher school, 2000. – 480 p.
4. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell. Soviet engineering research, 1987. – 7(2), pp. 48-52.
5. A. V. Merzlov Development of an efficiency criterion for optimizing the structures of machine modules / A.V. Merzlov, A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // *Sovremennyye tekhnologii: problemy i perspektivy: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern technologies: problems and prospects: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference] (May 20-23, 2019), Sevastopol: FGAOU VO "SevGU", 2019. – pp. 97-100.
6. Nakhapetyan E.G. *Diagnostirovaniye oborudovaniya gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva* [Diagnostics of equipment of flexible automated production] / E.G. Nahapetyan. – Moscow: Nauka, 1985. – 224 p.
7. Kharchenko A.O. *Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum* [Analysis and synthesis of structures of modern multi-operational machines: workshop] / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, E.A. Vladetskaya, S.I. Roshchupkin. – М.: Tsentrkatolog, 2018. – 144 p.

УДК 621

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ТЕРМОИНДУЦИРОВАННОЙ МИКРОСТРУКТУРЫ В ЗОНЕ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Григоров Р.Ю.¹ магистрант

¹АО «ЧЭАЗ», г. Чебоксары, 428020, Россия, ruskadet2010@mail.ru

Аннотация

Прогнозирование изменений микроструктуры в процессе изготовления позволит вывести функциональные возможности изготавливаемой заготовки. Точно так же для изготовленных заготовок тепловыми процессами прогнозирование изменений микроструктуры в пределах характерной зоны теплового воздействия позволит сделать детальные выводы об их функциональности. В ходе этой работы предыдущая разработанная модель улучшается с более высокими температурными градиентами. Разработанная модель с использованием метода фазового поля выполнена для стали 42CrMo4 и применима для моделирования эволюции микроструктуры в процессах с основным термическим активным принципом, например, лазерной или электроэрозионной обработки. Общепринятые методы моделирования эволюции микроструктуры рассматривают границу раздела фаз как резкую границу раздела. Тепловая нагрузка, индуцируемая на заготовку для всех рассмотренных выше процессов (ЭДМ, лазер), может быть описана как тепловой цикл, в ходе которого исследуемый материал проходит аустенитизацию (при нагреве) и мартенситное превращение (при охлаждении). В процессе нагрева температура в зоне теплового воздействия заготовки повышается от комнатной температуры до температуры чуть ниже температуры плавления. Эти модели применимы к тепловым процессам, таким как ЭДМ и лазерный процесс. Однако главным препятствием для такого моделирования было отсутствие существенных материальных данных при высоких градиентах температуры.

Ключевые слова: моделирование эволюции микроструктуры; подход фазового поля; лазер; электроэрозионная обработка; термоактивные принципы, заготовка, аустенитизация тепловые процессы.

SIMULATION OF THERMAL INDUCED MICROSTRUCTURE EVOLUTION WITHIN THE HEAT AFFECTED ZONE

Grigorov R. Yu.¹ Magistr

¹ChEAZ JSC, Cheboksary, 428020, Russia, ruskadet2010@mail.ru

Abstract

Prediction of the microstructure modifications during manufacturing processes will allow to deduce the functionality of a manufactured workpiece. Likewise, for manufactured workpieces by thermal processes, the prediction of the microstructure modifications within the characteristic heat affected zone will allow detailed conclusions regarding their functionality. In course of this work, a previous developed model is improved with higher temperature gradients. Using the phase field method, the developed model is performed for a 42CrMo4 steel, and is applicable for simulations of microstructure evolution during processes with main thermal active principle e.g. laser machining or electrical discharge machining. Conventional methods for modeling the evolution of microstructure consider the phase boundary as a sharp interface. The heat load induced on the workpiece for all the processes discussed above (EDM, laser) can be described as a heat cycle during which the material under study undergoes austenitization (when heated) and martensitic transformation (when cooled). During the heating process, the temperature in the heat affected zone of the workpiece increases from room temperature to a temperature just below the melting point. These models are applicable to thermal processes, such as the EDM and laser process. However, the main obstacle to such modeling was the lack of significant material data at high temperature gradients.

Keywords: Microstructure evolution simulations; Phase field approach; Laser; Electrical discharge machining; thermal active principles; billet, autestinitization thermal processes.

Каждый производственный процесс оставляет различные микроструктурные изменения в материале заготовки [1-10]. Эти модификации, являющиеся функциями формы и количества приложенной энергии, непосредственно влияют на функциональные возможности заготовки [11]. Поэтому всегда существует большой интерес к разработке новых методов прогнозирования изменений материала в процессе производства. Фазовые превращения, изменение размеров и структуры зерен, а также вариации остаточных напряжений являются наиболее распространенными модификациями материала, которые можно наблюдать в зоне обода заготовки [11]. Вплоть до настоящего времени предсказание ожидаемых изменений материала производилось методом проб и ошибок. Улучшение возможностей компьютеров, а также развитие численных методов моделирования сложных физических явлений побудили к исследованию нового подхода к моделированию эволюции этих микроструктур. Фазово-полевой подход - относительно молодой метод, который зарекомендовал себя как мощное средство моделирования различных эволюций микроструктуры. Этот подход основан на идее диффузного интерфейса. Таким образом, непрерывность сохраняется на стыках фаз. Кроме того, новые степени свободы, вводимые параметрами фазового поля, позволяют моделировать эволюцию

микроструктуры без отслеживания местоположения границ раздела.

Из-за нелинейного характера эволюции микроструктуры, для их моделирования необходимо применение сложного численного подхода. Общепринятые методы моделирования эволюции микроструктуры рассматривают границу раздела фаз как резкую границу раздела. В таких методах для определения локальной межфазной скорости отслеживается положение каждой границы раздела. Этот метод может быть полезен для одномерных систем, но он достигает своих пределов для сложных систем из-за увеличения числа фаз и, следовательно, увеличения сложности [11]. Многофазный полевой подход, введенный Штейнбахом и др. [11] решает эту проблему, вводя новые параметры, известные как параметры фазового поля $\phi(\vec{x}, t)$.

Фазово-полевой подход - относительно молодой метод, который зарекомендовал себя как мощное средство моделирования различных эволюций микроструктуры. Этот подход основан на идее диффузного интерфейса. Таким образом, непрерывность сохраняется на стыках фаз. Кроме того, новые степени свободы, вводимые параметрами фазового поля, позволяют моделировать эволюцию микроструктуры без отслеживания местоположения границ раздела [11].

С помощью метода фазового поля можно моделировать индуцированные изменения в материале заготовки в процессе изготовления.

В последние годы были опубликованы различные исследования по моделированию эволюции микроструктуры в ходе различных производственных процессов (например, процессов с механическим, химическим и/или термическим воздействием). Поскольку основное внимание в данной работе уделяется в основном процессам с тепловым воздействием, представлен краткий обзор опубликованных исследований по этому вопросу.

Бринксмайер и др. классифицировали производственные процессы на основе конкретных комбинаций, действующих на них нагрузок. [11] соответственно, такие процессы, как электроэрозионная обработка (ЭДМ), лазерная закалка и лазерная сварка, относятся к категории процессов с термическим активным началом или термическим воздействием. Из-за сходства основного активного физического принципа для названных процессов ожидается, что они также вызывают сходные механизмы. Таким образом, эти процессы приводят к аналогичным модификациям. Впоследствии они также разделяют изрядное количество общих шагов во время моделирования. Следовательно, модель одного из этих процессов может быть использована для моделирования других с некоторыми корректировками [11].

Для каждого из указанных процессов в литературе имеются различные работы, в которых делается попытка предсказать изменения материала с помощью различных методов. В качестве примера можно привести исследования Das et al. [11], Liu et al. [11] и Kunieda et al. [11] о процессе EDM можно назвать. В рассматриваемых работах модификации материала были предсказаны на основе моделируемого температурного поля, полученного в результате моделирования теплопередачи.

В качестве примера лазерного упрочнения можно привести исследования Миоковича и др. можно упомянуть. Миокович моделировал эволюцию микроструктуры с использованием энергетического подхода и моделировал изменения микроструктуры, такие как изменение фракций фаз и остаточных напряжений [11].

Ни в одном из рассмотренных исследований фазово-полевой подход не применялся для прогнозирования изменений микроструктуры. Поэтому ни одна из моделей не смогла предсказать свойства зоны обода вовремя и после процесса. В отличие от ЭДМ

существуют различные исследования, в которых для моделирования эволюции микроструктуры при лазерной сварке и лазерном упрочнении используется фазово-полевой подход [11]. Более подробный обзор моделирования эволюции микроструктуры для процессов с основными тепловыми активными принципами, включая упомянутые исследования, можно найти в работе [11].

В данной работе впервые применен фазово-полевой подход для моделирования эволюции микроструктуры материала из низкоуглеродистой стали (42CrMo4) при тепловой нагрузке с высокими временными градиентами. Реализованная в данном исследовании модель основана на модели, ранее опубликованной теми же авторами [11]. Ранее представленная модель была усовершенствована для адаптации к моделированию более высоких температурных градиентов. Основным препятствием для увеличения температурных градиентов является отсутствие параметров материала для высоких температурных градиентов. Хотя эта проблема все еще существует, в настоящей работе в качестве решения рассматривалось проведение параметрического исследования. Эта модель в дальнейшем может быть использована для моделирования эволюции микроструктуры в зоне теплового воздействия (ЗТВ) заготовки в процессе теплового воздействия.

Модель фазового поля описывает микроструктуру в целом с помощью так называемых параметров фазового поля. Эти переменные остаются неизменными на стыке различных фаз. Таким образом, область интерфейса в подходе фазового поля рассматривается как диффузионная граница раздела.

Наиболее точным подходом к расчету термодинамической движущей силы является применение базы данных Calphad. Thermo-Calc® - это программное обеспечение, которое вычисляет термодинамические данные материала для различных температур с помощью базы данных Calphad.

Исследуемым материалом в данной работе является отожженная низкоуглеродистая сталь 42CrMo4 в системе DIN. Эта марка стали содержит 0,4 мас.% углеродистого элемента. Состав этого материала приведен в таблице 1.

Таблица 1. Легирующие компоненты 42CrMo4.

Легирующий элемент	Символ	Концентрация (мас.-%)
Хром	Cr	0.9-1.2
Марганец	Mn	0.6-0.9
Кремний	Si	<0.4
Углерод	C	0.38-0.45
Молибден	Mo	0.15 - 0.3
Сера	S	<0.035
Фосфор	P	<0.025

Исходная структура материала при комнатной температуре (298 К) состоит из зерен феррита и перлита. Основное количество углеродного элемента сосредоточено в зернах перлита. В то время как концентрация углерода в зернах феррита очень низкая, около 0 мас.%. При повышении температуры материала углерод диффундирует из областей с высокой концентрацией углерода в области с более низкой концентрацией. Это происходит одновременно с изменением структуры элементарной ячейки от объемно-центрированной кубической (ОЦК) ферритовой фазы к гранецентрированной кубической (ФЦК) вновь образованной аустенитной фазе. Этот процесс известен как аустенитизация. В зависимости от температурных градиентов при нагреве конечная микроструктура может состоять из однородного аустенита (для более низких температурных градиентов) или неоднородного аустенита (для более высоких температурных градиентов). Термины однородный и неоднородный в этом случае относятся к концентрации углерода в зернах [11].

В процессе охлаждения зерна аустенита, образующиеся в процессе нагрева, резко теряют свою температуру. Из-за мгновенного падения температуры углеродные элементы не успевают диффундировать. Однако при падении температуры ниже характерной температуры M_s (мартенситная начальная температура), движущая сила фазового превращения достигает своего критического значения. Следовательно, она превышает энергию активации, необходимую для структурного преобразования. Это приводит к изменению структуры элементарных клеток от ОЦК к телу кантерированной тетрагональной (бцт) структуры. Это бездиффузионное превращение известно, как мартенситное

превращение, а вновь образовавшаяся фаза - как мартенсит. [11].

Тепловая нагрузка, индуцируемая на заготовку для всех рассмотренных выше процессов (ЭДМ, лазер), может быть описана как тепловой цикл, в ходе которого исследуемый материал проходит аустенитизацию (при нагреве) и мартенситное превращение (при охлаждении). В предыдущей работе уже была представлена имитационная модель такого теплового цикла. В упомянутом моделировании градиенты температуры считались равными 1500 К/С как для процесса нагрева, так и для процесса охлаждения. Насколько известно авторам, этот температурный градиент является наиболее высоким значением, при котором в литературе приведены необходимые параметры материала для моделирования эволюции микроструктуры 42CrMo4 [11]. Однако эти градиенты значительно ниже, чем температурные градиенты, действующие во время некоторых из упомянутых производственных процессов (например, EDM). В данной работе представлен результат моделирования эволюции новой микроструктуры при нагреве с более высоким градиентом температуры с использованием усовершенствованной модели. Для определения неизвестных параметров (подвижность интерфейса, энергия интерфейса и др.) Было проведено параметрическое исследование соответствующих параметров. Для выбранного материала ожидается полное превращение аустенита в процессе нагрева. Это важный фактор для принятия решения о том, подходят ли принятые значения параметров.

В данной работе представлены результаты моделирования эволюции микроструктуры, выбранной стали (42CrMo4) в процессе нагрева с высокими температурными градиентами. Моделирование проводилось для градиента температуры $dT/dt = 10\ 000\ \text{K/C}$. Пространственный градиент температуры во всей области предполагался равным нулю. Что касается материала, смоделированного здесь, то средняя концентрация углерода в области микроструктуры была установлена равной 0,4 мас.%. Из всех приведенных в таблице 1 легирующих элементов в представленной модели была допущена только диффузия углерода. Из-за малого размера атомов углерода его диффузия происходит гораздо быстрее, чем у других легирующих элементов.

Для захвата коэффициента диффузии при высоких временных градиентах температуры, который зависит от времени и пути, временные шаги, а также размер сетки были взяты очень малыми. Временными шагами считались $\Delta t = 10^{-5}$ С.

Поскольку разработка индивидуальной микроструктуры в трехмерном пространстве не поддерживается прикладной микроструктурой, моделирование в данной работе выполняется в двумерной области. Таким образом, область моделирования рассматривалась как квадрат 9×9 мкм², который был дискретизирован ячейками 600×600 с размером ячейки $0,015 \times 0,015$ мкм². Помимо более высокой гибкости прикладного программного обеспечения в 2D, сокращение времени вычислений и возможность сравнения результатов с изображениями EBSD и SEM являются дополнительными преимуществами моделирования в 2D.

Для гипоевтектоидной стали, такой как 42CrMo4, микроструктура состоит из зерен феррита и перлита. Сам перлит представляет собой смешанную фазу, которая может быть найдена в виде тонких цементитных ламелей, образующихся в ферритовой матрице [21]. Исходный домен имеет равную долю зерен феррита и перлита (50 %). Зерна перлита также состоят из 81 % феррита и 19% цементита. Имея данную информацию, была разработана исходная структура, представляющая собой подвергнутую сталь (Рис. 1). Узкие белые пластинки на Рис.1.а представляют собой цементит, в то время как светло-голубые области показывают ферритовую фазу. Концентрация углерода в зернах феррита была назначена равной 0 мас.%, что приводит к концентрации углерода в цементитной пластинке 6,8 мас.%. Таким образом, общая концентрация углерода в домене поддерживалась на уровне 0,4 мас. % (Рис. 1.б).

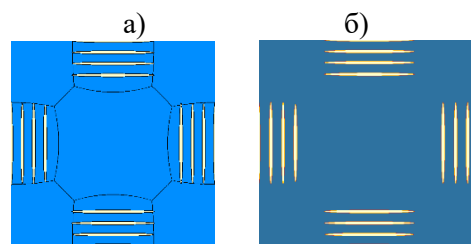


Рис. 1. Исходная структура, а) различные фазы б) карта концентрации углерода

В процессе нагрева температура в зоне теплового воздействия заготовки повышается от комнатной температуры до температуры чуть ниже температуры плавления. При достижении температуры аустенитизации $AC1$ 750°C ($=1023$ К) начинают появляться первые ядра аустенита. В имитационной модели зарождение аустенита допускалось между 900 К и 1150 К. Это связано с тем, что для высоких температурных градиентов температура превращения может отклоняться от заданных значений по фазовой диаграмме [11]. Моделирование было начато при температуре чуть ниже температуры аустенитизации ($T = 800$ К). Поскольку изменения микроструктуры ниже температуры аустенитизации незначительны, моделирование для этих температур приводит только к ненужному длительному времени расчета. В данной работе было проведено моделирование микроструктурных модификаций 42CrMo4 при высоких температурных градиентах. Эти модели применимы к тепловым процессам, таким как ЭДМ и лазерный процесс. Однако главным препятствием для такого моделирования было отсутствие существенных материальных данных при высоких градиентах температуры. Для решения этой задачи было проведено параметрическое исследование соответствующих параметров при заданных температурных градиентах.

Список литературы

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. [Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system](#) // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. [Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer](#) // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. [Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. [Mechanized spraying of liquid meliorants](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.

5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. [Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
6. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. [Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\)](#). 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.
7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. [Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
8. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. [Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки](#). 2020. № 2 (54). С. 65-77.
9. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. [Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\)](#). 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. [Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.
11. Bergs T. et al. Simulation of Thermal Induced Microstructure Evolution within the Heat Affected Zone / Procedia CIRP 82 (2019) 432–437

Referens

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system // In: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Ser. "CEUR Workshop Proceedings" 2018.S. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer // In the collection: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018.S. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.S. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants // In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020.S. 32026.
5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.S. 012137.
6. Chernukhin R.V., Dolgushin A.A., Kasimov N.G., Ivantsivsky V.V., Lobanov D.V., Vasiliev S.A., Martyushev N.V. Justification of the consumption characteristics of the recuperator for the thermal preparation of machinery and equipment units // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020.Vol. 22.No. 4.P. 82-93.
7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action // In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019.S. 032043.
8. Fedorova A.A., Vasiliev M.A., Vasiliev S.A. Mathematical model of the trajectory of measuring soil surface areas by circular scanning with a laser profilograph. Izvestiya vysshikh educational institutions. Volga region. Technical science. 2020. No. 2 (54). S. 65-77.
9. Vasiliev S.A., Alekseev V.V., Vasiliev M.A., Fedorova A.A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020.Vol. 22.No. 4.P. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020, p. 32021.
11. Bergs T. et al. Simulation of Thermal Induced Microstructure Evolution within the Heat Affected Zone / Procedia CIRP 82 (2019) 432–437

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЛОПАСТЕЙ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

А.В. Неменко¹, М.М. Никитин¹, О.А. Сатвалдыев¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: valesan@list.ru, m.nikitin.1979@gmail.com, aerius@qq.com

Аннотация

В работе рассмотрены основные разрушающие факторы, действующие на элементы судового движителя, в том числе, на лопасти гребного винта. Проведен обзор возможных повреждений винта, под действием внешних влияний, при этом учтены факторы, ускоряющие процесс разрушения. Перемещения лопастей при работе винта носят циклический характер, что позволяет применить для исследования их напряженно – деформированного состояния ряды Фурье, в том числе разложение в ряд циклических нагрузок, действующих на судно в целом и на винты в частности. Примером таких нагрузок может служить бортовая и килевая качка, с достаточной степенью точности, представляющая периодический процесс. Наложение периодического внешнего воздействия на собственные частоты колебаний лопастей вызывает резонансные эффекты, резко увеличивающие амплитуду напряжений в элементах винта. В работе предложен способ нахождения собственных частот колебаний лопастей путем выделения тригонометрического ряда из степенного, соответствующего решению дифференциального уравнения колебаний. Полученные результаты могут быть использованы для оценки прочности винтов различных конструкций и изготовленных из различных материалов.

Ключевые слова: движитель, лопасти, прочность, собственные частоты, усталость, предел выносливости

THE STRENGTH EVALUATION OF PROPELLER BLADES

A.V. Nemenko, Michael M. Nikitin, O.A. Satvaldyev

FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053,

Abstract

The paper considers the main destructive factors acting on the elements of the ship's propulsion system, including the propeller blades. A review of possible damage to the screw, under the influence of external influences due to its structural characteristics and the material of the product, is carried out, while taking into account the factors that accelerate the destruction process. The movements of the blades during the operation of the screw are cyclical, which allows us to use Fourier series to study their stress – strain state, including the decomposition into a series of cyclic loads acting on the ship as a whole and on the screws in particular. An example of such loads is the side and keel pitching, which represents a periodic process with a sufficient degree of accuracy. The imposition of a periodic external influence on the natural frequencies of the blade vibrations causes resonant effects that sharply increase the amplitude of the stresses in the screw elements. In this paper, we propose a method for finding the eigenfrequencies of blade vibrations by isolating the trigonometric series from the power series corresponding to the solution of the differential equation of oscillations. The results obtained can be used to evaluate the strength of screws of various designs and made of various materials.

Keywords: propeller, propeller blades, strength, natural frequency, fatigue, endurance limit

Введение

Гребные винты являются наиболее распространенным типом судовых движителей – они обладают высокими пропульсивными качествами и сравнительно просты по конструкции. Указанные факторы обусловили развитие научных исследований, направленных на детальное изучение гидродинамики гребных винтов и повышение их эксплуатационной надежности.

Гребной винт относится к категории таких механизмов судна, от работоспособности которых зависят не только эксплуатационные

качества судна, но и безопасность его плавания.

Гребной винт работает в условиях, когда: действующие на его лопасти внешние силы, как правило, нестационарны во времени, испытывают при этом воздействие агрессивной среды, подвергаясь коррозионным разрушениям, а также подвержены влиянию гидродинамических нагрузок с возникновением явления кавитации.

Все это определяет характер повреждений гребных винтов, встречающихся в практике эксплуатации судов морского и речного флота.

Коррозионные и эрозионные повреждения гребного винта в ряде случаев способствуют отгибу кромок лопастей, что отрицательно

сказывается на гидродинамических качествах винта, а при более глубоких стадиях развития приводят и к поломке лопастей.

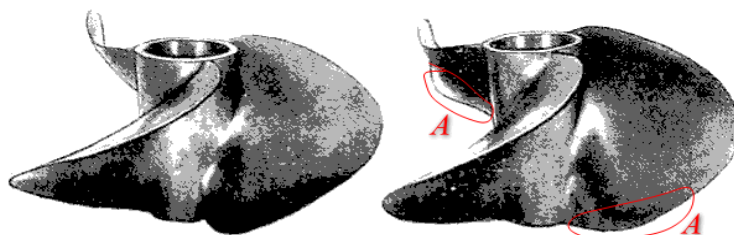


Рис. 1. Отгиб лопасти гребного винта, обусловленный действием гидродинамических сил

Из-за недостаточной местной прочности лопасти гребного винта может произойти отгиб входящей кромки (рис. 1). Этот вид повреждений характерен для широколопастных гребных винтов с дисковым отношением 0,9—1,0.

Инженерные методики проектирования гребных винтов не обеспечивают достоверные рекомендации по равнопрочности его элементов по всей поверхности. Обеспечение местной прочности лопастей, как правило, осуществляется путем назначения толщин кромок на основе имеющегося опыта эксплуатации ранее спроектированных винтов. Этот вынужденный прием оказывается

особенно ненадежным, если для вновь проектируемого винта необходимо экстраполировать параметры, характеризующие его работу, например передаваемую мощность, в сторону больших значений, или если вновь проектируемый винт предназначен для работы в условиях большей неравномерности натекающего потока.

Наибольшую опасность создания аварийной ситуации представляют повреждения гребного винта, причиной которых является недостаточная общая прочность лопастей. Поломка лопасти происходит, как правило, в районе наиболее напряженных корневых сечений (рис. 2).

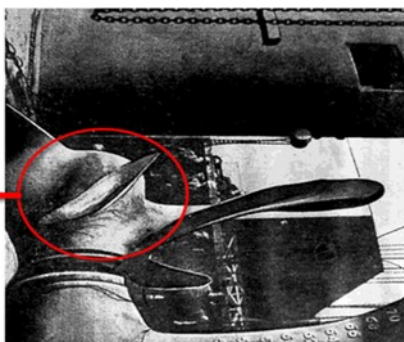


Рис. 2. Усталостное разрушение лопасти гребного винта крупнотоннажного танкера

В связи с серьезностью последствий такого рода повреждений обеспечение прочности лопастей заслуживает наиболее пристального внимания исследователей и проектантов. Одновременно с этим можно указать чисто технические и эксплуатационно-экономические задачи, обуславливающие необходимость выполнения расчетов гребных винтов на общую прочность [1]. Полученные в результате расчета напряжения, позволяют принять оптимальные параметры лопастей, повышая гидродинамическую эффективность гребного винта с уменьшением вероятности возникновения кавитации. Снижение при этом веса и махового момента винта уменьшает нагрузку на дейдвудный подшипник, что

позволяет избежать работы в опасной по крутильным колебаниям зоне чисел оборотов.

Эксплуатационно-экономические аспекты при проектировании повышаются с улучшением характеристик движителя, основанных на технических совершенствовании его конструкции.

Гидродинамические и инерционные (центробежные) силы, которые действуют на гребной винт имеют постоянную и переменную составляющие. Переменные характеристики нагружения, как правило, носят циклический характер, что вызывается, в частности, неравномерным по окружности диска винта полем скоростей, обусловленным гидродинамическим влиянием корпуса судна и кормовых выступающих частей. На этот

эффект влияют периодически изменяющиеся при вращении винты углы атаки элементов лопастей.

Значения нагрузки в определенные моменты времени могут существенно отличаться от ее среднего значения за промежуток времени, соответствующий одному обороту винта. Расчеты и опыты показывают, что амплитуды переменной составляющей гидродинамической нагрузки могут в некоторых случаях достигать 50% средней величины полной нагрузки. Очевидно, что в таком же соотношении будут находиться средние и мгновенные значения напряжений лопасти.

В общем случае гидродинамическая нагрузка лопасти аналитически может быть представлена в виде ряда Фурье, где в качестве аргумента принята угловая координата θ лопасти в диске винта и тогда при среднем значении упора лопасти за оборот винта P_0 и крутящего момента M_0 (постоянные составляющие нагрузки) имеет место соотношение:

$$P_1 = P_0 + \sum_{m=1}^{\infty} (P_{mc} \cos m\theta + P_{ms} \sin m\theta); \quad (1)$$

$$M_1 = M_0 + \sum_{m=1}^{\infty} (M_{mc} \cos m\theta + M_{ms} \sin m\theta). \quad (2)$$

Изменяющиеся по гармоническому закону составляющие нагрузки P_{mc} , P_{ms} , M_{mc} , M_{ms} обусловлены работой винта в неравномерном поле скоростей за корпусом судна

Очевидно, что более правильным является такой подход к рассмотрению прочности гребного винта, при котором цикличность нагрузки лопастей непосредственно учитывается при определении внешних сил.

Важная роль в обеспечении эксплуатационной прочности гребных винтов принадлежит также факторам, связанным с технологией производства и ремонта, а также соответствием механических свойств материалов. Среди этих факторов наиболее существенное значение имеют совершенство технологических приемов литья, обеспечение равномерного охлаждения отливок, меры по снятию напряжений, возникающих при устранении сваркой различного рода дефектов лопастей.

Сложный характер напряженного состояния лопастей винтов (особенно широколопастных) и трудности аналитического исследования напряжений с учетом особенностей геометрии гребного

винта обусловили развитие экспериментальных методов исследования напряжений и деформаций лопастей. Установление напряженно-деформированного состояния лопастей выполняется на моделях гребных винтов и на натуральных объектах.

Кроме цельнолитых гребных винтов, широкое распространение получили также винты регулируемого шага (ВРШ), водометные движители и гребные винты со съемными лопастями. Конструктивные особенности этих типов движителей вызывают ряд специальных вопросов, касающихся прежде всего методов определения сил и расчета напряжений в деталях крепления лопастей и механизмах привода их поворота (винты со съемными лопастями и ВРШ). При этом, поскольку гребные винты со съемными лопастями устанавливаются более часто на судах, предназначенных для плавания в ледовых условиях, возникает необходимость оценки внешних сил при возможных ударах лопастей о плавающие льдины.

Цель работы состоит в определении основных разрушающих факторов, действующих на лопасти гребного винта.

Напряжения в сечениях лопасти гребного винта

Лопасть гребного винта при обычном конструктивном выполнении может быть представлена геликоидальной оболочкой переменной толщины, жестко закрепленной по внутренней части контура и свободной по всей остальной границе. Расчет напряженного состояния такой оболочки, находящейся под действием указанных выше внешних сил, представляет собой задачу большой сложности, даже если при ее решении исходить из положений обычной технической теории оболочек, основанной на гипотезе прямых нормалей и предпосылке об отсутствии нормальных напряжений по площадкам, параллельным срединной поверхности оболочки. Такой путь установления напряженного состояния лопасти, представляющей интерес прежде всего в теоретическом плане, приводит к необходимости решения сложной системы дифференциальных уравнений в частных производных с переменными коэффициентами.

Для практики проектирования гребных винтов приемлемы хотя и менее строгие, но зато и менее трудоемкие расчетные методы,

основанные на различного рода дополнительных допущениях.

Наиболее широкое распространение получили методы расчета прочности на базе теории призматических стержней. Не претендуя на высокую степень точности, они вместе с тем с вполне удовлетворительной достоверностью ориентируют конструктора при оценке напряженного состояния винта.

Составляющие гидродинамического изгибающего момента, действующего в сечении лопасти $ABCD$, показаны на рисунке 3.

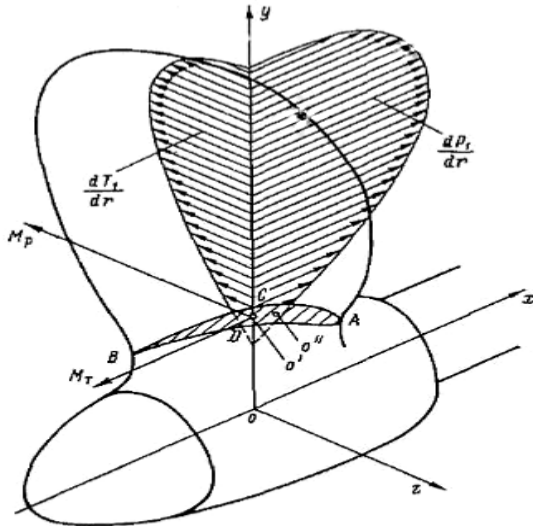


Рис. 3. Составляющие гидродинамического изгибающего момента, действующего в сечении лопасти $ABCD$: M_P — составляющая от действия осевой (в направлении перемещения гребного винта) составляющей гидродинамической нагрузки в произвольном сечении лопасти на расстоянии r_p от оси вращения винта; M_T — составляющая от действия касательных гидродинамических сил; dP_1 и dT_1 — упор и крутящий момент элемента лопасти, соответственно.

Развернем сечение лопасти на плоскость, проходящую через точку O' перпендикулярно к оси лопасти Oy (рисунок 4).

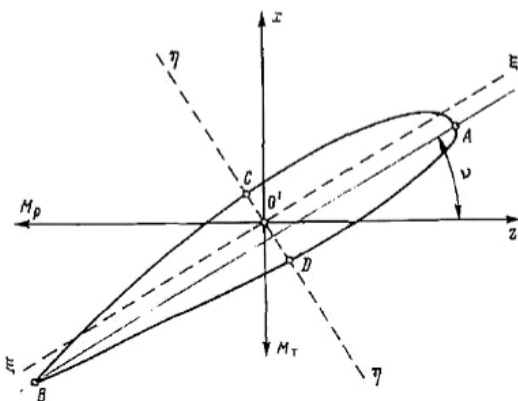


Рис. 4. Главные центральные оси сечения лопасти: $x-x$ ось минимальной жесткости; $\eta-\eta$ ось максимальной жесткости

Спроектировав моменты на оси $x-x$ и $\eta-\eta$, получим:

- полный изгибающий момент M_ξ относительно оси $x-x$ при учете гидродинамических и центробежных сил

$$M_\xi = (M_P + M_C) \cos \nu + M_T \sin \nu; \quad (3)$$

- момент M_η относительно оси $\eta-\eta$

$$M_\eta = (M_P + M_C) \sin \nu - M_T \cos \nu. \quad (4)$$

Кроме изгибающих моментов, внешнюю нагрузку лопасти составляют растягивающие усилия, возникающие от действия центробежной силы P_c .

В общем случае точка приложения гидродинамического момента (точка O') не совпадает с центром тяжести сечения (точка O''). Система напряжений, возникающих в рассматриваемом сечении от действия гидродинамических сил должна уравновешивать, кроме изгибающего момента, также скручивающий относительно центра тяжести момент и перерезывающую силу, которые приводят к появлению касательных напряжений в сечении лопасти. Как показывают расчеты, они существенно меньше, чем нормальные напряжения, возникающие от действия изгибающего момента.

В случае, когда установлены величины:

I_ξ , I_η — моменты инерции сечения лопасти относительно главных центральных осей $x-x$ и $\eta-\eta$; ξ_{max} , η_{max} — расстояния от наиболее удаленных волокон сечения до нейтральной оси;

$W_\xi(\eta_{max})$, $W_\eta(\xi_{max})$ — моменты сопротивления сечения для точек с координатами η_{max} и ξ_{max} , соответственно, определяем напряжения изгиба в соответствующих точках относительно нейтральной оси сечения лопасти и напряжения растяжения от центробежной силы.

$$\sigma_\xi(\eta_{max}) = \frac{M_\xi \eta_{max}}{I_\xi} = \frac{M_\xi}{W_\xi(\eta_{max})} \quad (5)$$

$$\sigma_\eta(\xi_{max}) = \frac{M_\eta \xi_{max}}{I_\eta} = \frac{M_\eta}{W_\eta(\xi_{max})} \quad (6)$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{F} \quad (7)$$

Наиболее удаленные от нейтральной оси точки рассматриваемого сечения:

- точка A , в которой напряжения растяжения от момента M_ξ суммируются с аналогичными напряжениями от действия момента M_η и центробежной силы

$$\sigma(A) = \sigma_\xi(\eta_A) + \sigma_\eta(\xi_A) + \sigma_c; \quad (8)$$

- точка B , где одновременно действуют напряжения сжатия от момента M_η и напряжения растяжения от момента M_ξ и центробежной силы

$$\sigma(B) = \sigma_\xi(\eta_B) + \sigma_c - \sigma_\eta(\xi_B); \quad (9)$$

- точка C , в которой действуют главным образом напряжения сжатия от момента M_ξ и напряжения растяжения, возникающие от действия центробежной силы

$$\sigma(C) \cong -\sigma_\xi(\eta_C) + \sigma_c \quad (10)$$

точка D , в которой действуют растягивающие напряжения от момента M_ξ и центробежной силы

$$\sigma(D) \cong \sigma_\xi(\eta_D) + \sigma_c \quad (11)$$

Очевидно, что наибольшими напряжениями в сечении лопасти являются сжимающие нормальные напряжения в точке C . Наибольшие же растягивающие напряжения, как правило, возникают в точке D [2].

С учетом циклического характера нагружения установлено, что наибольшие напряжения возникают в корневых сечениях лопасти. Как правило, относительный радиус ступицы цельных гребных винтов $\bar{r}_0 = 0,17 - 0,18$; имея в виду наличие галтели в месте перехода лопасти винта в ступицу, без внесения существенной погрешности можно принять за опасное сечение на радиусе 0,2.

Собственные колебания лопасти гребного винта

В процессе проектирования конструкций, подвергающихся воздействию периодических сил, приходится выполнять расчет частот собственных колебаний с целью принятия мер, исключающих возможность их совпадения с частотами возмущающих сил. При этом, как известно, наступает явление резонанса, при котором даже весьма незначительные по величине возмущающие силы способны вызвать в колеблющейся конструкции значительные переменные напряжения и сравнительно быстро привести ее к разрушению.

Определение частот свободных колебаний лопастей целесообразно выполнять для всех крупногабаритных гребных винтов (диаметром больше 4—5 м). Это вызвано тем, что частоты свободных колебаний лопастей таких винтов в воде относительно невелики и при сравнительно высокооборотных двигателях возможно возникновение резонансных колебаний.

Конструктора прежде всего интересует первая гармоника собственных изгибных колебаний, или основной тон, когда в процессе

колебаний узловая линия располагается в месте заделки лопасти на ступице, а пучность образуется у ее вершины. Основному тону соответствует наименьшее значение частоты.

Рассмотрим приближенный метод определения частот собственных колебаний лопасти винта. Будем считать, что колебания происходят в плоскости наименьшей жесткости, перпендикулярной к хордам сечений спрямленной лопасти. Лопасть будем рассматривать как консольную балку переменного сечения, жестко закрепленную в конце сечения.

При этих условиях уравнение изгибных колебаний лопасти может быть выведено из дифференциального уравнения упругой линии балки

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -M(x), \quad (12)$$

где EI — жесткость балки при изгибе; $M(x)$ — изгибающий момент в любом ее поперечном сечении.

Если учесть, что при свободных колебаниях можно считать лопасть нагруженной инерционными силами интенсивностью

$$q = \frac{d^2 M(x)}{dx^2} = \frac{\gamma S}{g} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2}, \quad (13)$$

где γ — удельный вес материала лопасти; g — ускорение свободного падения; S — площадь поперечного сечения лопасти, меняющаяся по ее длине.

После подстановки соответствующих величин, получим

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = -\frac{\gamma S}{g} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (14)$$

К полученному уравнению необходимо добавить граничные и начальные условия. Поскольку в дальнейшем будут представлять интерес лишь только те характеристики колебательного движения, которые не зависят от начальных воздействий, начальные условия в рассмотрение вводиться не будут. Граничные условия с учетом замены лопасти длиной l консольным стержнем имеют вид

$$\begin{aligned} \text{при } x = 0 : y = 0, \quad \frac{dy}{dx} = 0 \\ \text{при } x = l : EI \frac{d^2 y}{dx^2} = 0, \quad \frac{d}{dy} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Применение метода Фурье для решения поставленной задачи показывает, что изучаемое движение является гармоническим колебанием.

Изменение во времени мгновенных значений координат представим в виде степенных рядов, коэффициенты которых

могут быть получены из уравнения (14) с граничными условиями (15):

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n t^n, \quad (16)$$

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} d_n t^n. \quad (17)$$

Периодичность этих функций устанавливается из оценки их разложения в тригонометрические ряды с заранее неизвестным периодом $2T$. Далее рассмотрим схему нахождения этого периода для функции $x(t)$.

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ a_k \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot k \cdot t}{T}\right) + a_k \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot k \cdot t}{T}\right) \right\}. \quad (18)$$

Процессы перемещения выделенной точки лопасти по координатам x и y описываются аналитическими функциями. В случае, когда функция периодична, она может быть представлена в виде сходящегося ряда Фурье. Для сходимости ряда (18) достаточна сходимость числового ряда, полученного из коэффициентов гармоник

$$S = \sum_{k=0}^{\infty} A_k, \quad (19)$$

$$\text{где } A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}.$$

Для определения основного периода $2T$ и коэффициентов гармоник разложим каждый член ряда (18) в ряд Маклорена. Приравняв коэффициенты при одинаковых степенях времени t полученных разложений и ряда (16), запишем две системы линейных алгебраических уравнений соответственно для четных и нечетных коэффициентов ряда (16):

$$\begin{cases} c_0 = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \\ c_2 = -\frac{\pi^2}{2T^2} \sum_{k=1}^{\infty} a_k k^2 \\ \dots\dots\dots \\ c_{2n} = \frac{(-1)^n}{(2n)!} \left(\frac{\pi}{T}\right)^{2n} \sum_{k=1}^{\infty} a_k k^{2n} \end{cases}, \quad (20)$$

$$\begin{cases} c_1 = \frac{\pi}{T} \sum_{k=1}^{\infty} b_k k \\ c_3 = -\frac{\pi^3}{6T^3} \sum_{k=1}^{\infty} b_k k^3 \\ \dots\dots\dots \\ c_n = \frac{(-1)^n}{(2n+1)!} \left(\frac{\pi}{T}\right)^{2n+1} \sum_{k=1}^{\infty} b_k k^{2n+1} \end{cases}. \quad (21)$$

Из каждой системы можно определить период и коэффициенты синусов или косинусов разложения (18).

Для нахождения решений систем умножим каждое уравнение на (T/π) в соответствующей степени.

В результате получим системы линейных, относительно исследуемых коэффициентов, алгебраических уравнений, в которых полупериод находится в столбцах свободных членов. Поскольку полупериод неизвестен, целесообразно выразить его из первых $(n-1)$ уравнений системы и подставить в последнее уравнение.

При этом системы линейных алгебраических уравнений будут иметь следующие определители:

$$\det A = \begin{vmatrix} \frac{1}{2} & 1 & \dots & 1 \\ 0 & -\frac{1}{2} & \dots & -\frac{(k-1)^2}{2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \frac{(-1)^{k-1}}{(2k-1)!} & \dots & \frac{(-1)^{k-1} (k-1)^{2k-2}}{(2k-1)!} \end{vmatrix}, \quad (22)$$

$$\det B = \begin{vmatrix} 1 & 2 & \dots & k \\ -\frac{1}{6} & -\frac{4}{3} & \dots & -\frac{k^3}{6} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{(-1)^{k-1}}{(2k-1)!} & \frac{(-1)^{k-1} 2^{2k-1}}{(2k-1)!} & \dots & \frac{(-1)^{k-1} k^{2k-1}}{(2k-1)!} \end{vmatrix}. \quad (23)$$

Исследование этих выражений показывает, что по абсолютной величине четный определитель равен

$$\det A = \frac{1}{2^k}, \quad (24)$$

$$\text{а нечетный} \quad \det B = 1. \quad (25)$$

При этом каждый определитель положителен только при выполнении условия

$$k = 3m + 1, m \in N. \quad (26)$$

Рассмотренные свойства определителей (22) и (23) целесообразно использовать для решения систем (20) и (21) по методу Крамера, при этом определители отдельных

коэффициентов могут быть вычислены приведением их к треугольному виду и перемножением элементов главной диагонали.

После получения $(n - 1)$ коэффициентов тригонометрического ряда и подстановки их в последнее уравнение системы (20) или (21), полупериод определяется численными методами.

Отметим, что формула для частоты колебаний основного тона имеет вид

$$f_1 = \frac{1}{6,28} \left(\frac{1,875}{l} \right)^2 \sqrt{\frac{EI_0}{\rho S_0}} \times \sqrt{\frac{1 - 0,193m_0 \pm 0,493|m_1|}{1 - 0,807n_0 \pm 0,493|n_1|}} \quad (27)$$

где n_0 , n_1 , m_0 и m_1 — численные коэффициенты; они могут быть найдены по формулам

$$n_0 = \frac{S_0 - S_l}{S_0}; \quad n_1 = \frac{1}{S_0} \left(\frac{S_0 - S_l}{2} - S_{l/2} \right);$$

$$m_0 = \frac{I_0 - I_l}{I_0}; \quad m_1 = \frac{1}{I_0} \left(\frac{I_0 - I_l}{2} - I_{l/2} \right),$$

в которых S_0 , $S_{l/2}$, S_l , I_0 , $I_{l/2}$, I_l — площади и моменты инерции спрямленных цилиндрических сечений лопасти на радиусе r_0 (корневое сечение), на радиусе, соответствующем половине длины лопасти $r_{l/2}$ и радиусе $r_l = R$.

Отклонение расчетного значения частоты от полученного экспериментально, как правило, составляет не более 2%.

Приведенная формула для частот изгибных колебаний справедлива, когда гребной винт находится в пустоте. В среде с определенной плотностью некоторые объемы этой среды, примыкающие к колеблющемуся телу, будут вовлечены в процесс колебаний. Этим самым среда как бы увеличивает массу колеблющегося тела, что приводит к снижению частоты собственных колебаний.

Экспериментально установлено, что водная среда примерно в два раза снижает частоту собственных колебаний, замеренную в воздухе. В соответствии с этим для гребных винтов транспортных судов принимают $f_{\text{вод}} \approx 0,5 f_{\text{возд}}$ [3].

Циклическое нагружение лопасти гребного винта

Расчеты и экспериментальное определение частот колебаний лопастей гребных винтов в воде показывают, что соотношение между собственными частотами лопастей и частотами возмущающих

гидродинамических сил при работе винта в неравномерном потоке за корпусом судна таково, что критические частоты располагаются значительно выше частот возмущающих сил, соответствующих рабочим режимам. Отсюда следует, что если гидродинамические нагрузки на лопасти движителя, работающего за корпусом судна, носят периодический характер, то с такой же периодичностью (при коэффициенте динамичности, равном единице) будут изменяться также напряжения и деформации. Учитывая пропорциональность между внешними нагрузками и создаваемыми ими напряжениями, а также характер изменения внешних сил за время одного оборота винта, напряжения в сечениях лопасти могут быть представлены изменяющимися по некоторому асимметричному циклу, состоящему из среднего напряжения цикла σ_m постоянной величины и периодически изменяющегося с амплитудой σ_a .

Как показано в [4], зависимость, связывающая предел выносливости при симметричном цикле с компонентами предельного напряжения при асимметричном цикле, для металлических сплавов имеет вид

$$\sigma_{-1}^2 = \sigma_a^2 + \sigma_a \sigma_m \quad (28)$$

Учитывая, что σ_m и σ_a могут быть выражены через экстремальные напряжения цикла ($\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$), то формула (28) в этом случае примет вид

$$2\sigma_{-1}^2 = \sigma_{\max}^2 + \sigma_{\max} \sigma_{\min} \quad (29)$$

Следует отметить, что зависимости (28) и (29) являются приближенными, но они позволяют произвести оценку переменных напряжений с любым циклом по единой характеристике — пределу выносливости.

Для ориентировочной оценки циклической прочности лопастей необходимо располагать величиной постоянной и пульсирующей составляющих нагрузки цикла или наибольших и наименьших напряжений этого цикла.

Экспериментальными исследованиями напряженного состояния лопастей моделей гребных винтов установлено, что независимо от их геометрических характеристик наиболее напряженными районами лопастей оказываются зоны наибольших толщин.

Это позволяет считать, что расчет прочности целесообразно выполнять только для наибольших толщин сечений, т. е. в районе корневых сечений лопасти.

Иногда расчеты удобнее выполнять, используя уравнения, связывающие внешнюю

нагрузку с размерами сечения детали. Для определения напряжений изгиба в лопастях гребных винтов могут считаться известными экстремальные значения упора и крутящего момента на лопасти винта или максимальный и минимальный изгибающие моменты в расчетном сечении.

Характеристики материалов для изготовления лопастей гребных винтов

Материалы, применяемые для изготовления гребных винтов, должны обладать комплексом свойств, обусловленных спецификой работы винтов как движителей. С учетом характера внешних нагрузок, воспринимаемых гребным винтом, материалы должны характеризоваться высоким уровнем показателей статической прочности и пластичности и в то же время хорошо противостоять циклическим нагрузкам от нестационарных гидродинамических сил и моментов, возникающих при работе гребного винта за корпусом судна.

Также материал гребного винта должен обладать высокой стойкостью к коррозионному и эрозионному разрушениям в потоке морской воды при наличии контактной связи с материалами другой полярности.

Гребной винт морского судна представляет собой, как правило, сложную фасонную отливку большого веса и значительных габаритов, к точности изготовления и чистоте обработки поверхности которой предъявляются повышенные требования. Поэтому материал гребного винта должен иметь определенные технологические свойства и в первую очередь хорошие литейные качества и способность легко обрабатываться режущими инструментами.

Любые отливки, особенно крупногабаритные, нуждаются в исправлении сваркой или путем горячей правки литейных дефектов и деформаций кромок. К местному или общему нагреву приходится прибегать и при ремонтных работах, вызванных коррозионно-эрозионными повреждениями лопастей или наличием трещин и погибов, с применением сварки, наплавки, правки. В обоих случаях материал должен допускать возможность нагрева до высоких температур.

Важным желательным свойством является и малый удельный вес материала, определяющий, в конечном счете, величину изгибающего момента от веса винта на консольной части гребного вала.

И, наконец, материал не должен иметь особо дефицитных составляющих, обеспечивая минимальную стоимость гребных винтов.

Для сравнения приведем краткие характеристики материалов гребных винтов применительно к условиям прочности и долговечности, а также данные по коррозионной и эрозионной стойкости важнейших сплавов (таблица 1) [5], [6], [7], [8].

Латунь ЛМцЖ55-3-1 широко используется при изготовлении гребных винтов для судов всех типов и назначений, не относящихся к определенному ледовому классу. Она обладает хорошими технологическими свойствами. При достаточном пределе прочности эта латунь характеризуется сравнительно невысокими пределом текучести и уровнем коррозионно-усталостной прочности.

При отсутствии протекторной защиты гребные винты из латуни ЛМцЖ55-3-1 подвержены обесцинкованию, что приводит при эксплуатации к снижению прочности и пластичности материала и разрушению винта. Кроме того, латунь этой марки склонна к коррозионному растрескиванию, что наблюдается не только у гребных винтов, находящихся в эксплуатации, но и у хранящихся на складе и не бывших в эксплуатации.

Для надежности в эксплуатации после работ с применением сварки или правки с нагревом обязательно должна производиться термическая обработка для снятия остаточных напряжений. Эту латунь рекомендуется применять для гребных винтов транспортных судов, имеющих скорость не более 15 уз.

Алюминиево-никелевая бронза Бр.АЖН9-4-4 существенно отличается от латуней более высокими механическими свойствами. Возможность уменьшить толщину лопастей за счет этого в совокупности с малым по сравнению с латунями удельным весом этой бронзы позволяют довести снижение веса гребных винтов до 10%.

Кроме того, у этой бронзы не наблюдается коррозионного растрескивания. Однако алюминиево-никелевые бронзы подвержены охрупчиванию в зоне температур 200—550°C. Поэтому правку лопастей при ремонте производят в нагретом до 750—850° состоянии, осуществляя контроль за температурой, которая не должна опускаться ниже установленной.

По сравнению с латунью ЛМцЖ55-3-1 эта бронза обладает худшими литейными

свойствами, более склонна к газовой пористости, повышенное содержание в сплаве дефицитного никеля удорожает ее.

Высокие показатели статической прочности и пластичности, весьма высокий уровень коррозионно-усталостной прочности позволяют использовать алюминиево-никелевые бронзы для изготовления гребных винтов транспортных судов, имеющих ледовый класс и скорость свыше 15 уз, включая одновальные суда с повышенной неравномерностью поля скоростей в районе расположения винта.

Марганцово-алюминиевые бронзы являются наиболее удачными из всех существующих сплавов на медной основе. Более высокие механические свойства, чем у алюминиево-никелевой бронзы, а также несколько меньший удельный вес позволяют существенно снизить вес гребных винтов, что особо важно для одновальных крупнотоннажных судов.

Марганцово-алюминиевые бронзы рекомендуются для изготовления гребных винтов большого диаметра, устанавливаемых на крупных транспортных судах со скоростью свыше 15 уз.

Таблица 1. Коррозионная и эрозионная стойкость материалов гребных винтов.

Марки Материалов	Кавитационные испытания на магнитно-стрикционном вибраторе				Коррозионные испытания			
	потеря в весе, г/м ²				Шпиндельный аппарат		Прибор переменного погружения	
	за 1-й час испытаний	за 2-й час испытаний	за 3-й час испытаний	общая (за 3 часа)	потеря в весе, г/м ² ·ч	скорость эрозии, мм /год	потеря в весе, г/м ² ·ч	скорость коррозии, мм /год
25Л	83,4	105,6	75,4	264,4	0,552	0,615	2,120	2,360
1Х14НД	8,7	14,0	12,0	34,7	0,0028	0,0031	0,0184	0,0206
0Х17Г4НЗД2Т	13,0	24,0	18,0	55,0	0,0042	0,0047	0,0124	0,0138
ЛМцЖ55-3-1	42,3	58,3	56,3	157,1	0,0075	0,0080	0,0301	0,0332
ЛАМцЖ67-5-2-2	10,3	22,5	23,6	56,4	0,0033	0,0037	0,014	0,016
Бр.АЖН9-4-4	—	—	—	32	0,0017	0,0020	0,060	0,068
«Нева»	—	—	—	50	0,004	0,0045	0,028	0,032

Нержавеющая сталь 1Х14НД, первоначально предназначенная для замены нестойкой к коррозии углеродистой стали, очень хорошо зарекомендовала себя в эксплуатации, поскольку обладает высокими показателями статической прочности и пластичности. Характеризуется значительным условным пределом коррозионно-усталостной прочности, который резко снижается при наличии остаточных напряжений и концентраторов напряжений в форме надразов.

Одним из источников повышения коррозионно-усталостной прочности является поверхностное упрочнение, получаемое при дробеструйном наклепе, обкатке или чеканке. Нержавеющая сталь марки 1Х14НД находит широкое применение для изготовления гребных винтов и съемных лопастей для судов усиленного ледового класса и для ледоколов, а также для всех других судов при эксплуатации во льдах.

Углеродистая сталь по уровню статических показателей прочности не

уступает латуням. Основные недостатки, полностью обесценивающие ее как материал для гребных винтов, — низкие коррозионно-эрозионная стойкость и коррозионно-усталостная прочность. Уже через 2,5—3 года эксплуатации гребные винты из углеродистой стали приходят в состояние полной непригодности и подлежат замене, а в течение первого года эксплуатации лопасти приобретают шероховатость, существенно снижающую к. п. д. винтов. Гребные винты из углеродистой стали могут применяться на судах, срок службы которых до списания не превышает трех—пяти лет, а также на небольших судах активного ледового плавания, буксирах и вспомогательных судах.

Синтетические материалы. В качестве материалов для изготовления гребных винтов используют также полиамиды и стеклопластики, а также в последнее время и композиционные материалы. Отсутствие коррозии в морской воде, способность сохранять чистоту поверхности в процессе

эксплуатации и небольшой вес являются существенными преимуществами синтетических материалов перед металлическими сплавами. Однако низкие механические свойства (либо полная неремонтопригодность и высокая стоимость в случае композитов) резко ограничивают их применение в производстве гребных винтов. Кроме того, технология изготовления винтов из синтетических материалов достаточно сложна, имеет свою специфику, и производство может быть целесообразным только при крупносерийном выпуске небольших по размеру гребных винтов.

Высокопрочный чугун редко применяется в качестве материала для изготовления гребных винтов. Относительно большее распространение получил серый чугун, из которого делают гребные винты мелких речных судов. Главными достоинствами чугуна как материала для гребных винтов является низкая стоимость и простая технология отливки. Однако низкая коррозионная стойкость, недостаточная прочность и отсутствие пластичности ограничивают его применение.

Циклическая прочность материалов лопастей гребных винтов

При проектировании гребных винтов, так как все они подвергаются циклическим нагрузкам в коррозионной среде, прочностным ограничивающим пределом часто является условный предел выносливости материала.

Оценку циклической прочности материалов производят на основании испытания образцов на усталость при нагружении, соответствующем реальным производственным режимам.

Результаты испытаний материалов на циклическую прочность положены в основу проектных и проверочных расчетов элементов движителей судов с последующей оценкой всего агрегата в течении заданного срока службы.

Существенное влияние на циклическую прочность объектов исследований оказывает: концентрация напряжений, состояние поверхности, структура материала и его механические характеристики, параметры режимов нагружения, размеры, рабочая среда и т.п.

Концентрация напряжений. Концентраторами напряжений являются дефекты поверхности, вызванные механической обработкой, отверстия, места сопряжений галтелями, трещины и литейные пороки. Они обуславливают снижение циклической прочности, которое более

надежно оценивается путем сравнения значений пределов выносливости материала, полученных при одном и том же числе циклов для гладких образцов и образцов с надрезом.

Чувствительность сталей к надрезу увеличивается с повышением прочности. Цветные сплавы менее чувствительны к концентрации напряжений.

Неметаллические включения — металлургические дефекты — снижают как статическую, так и циклическую прочность изделий, вызывая концентрацию напряжений.

Влияние чистоты обработки поверхности изделия на предел выносливости его материала аналогично влиянию надреза, так как неровности, образующиеся на поверхности при плохой обработке, являются эффективными концентраторами напряжений и служат одной из причин снижения циклической прочности.

Состояние поверхностных слоев. Наклеп, как правило, приводит к повышению предела выносливости всех металлических сплавов, зависящему от толщины наклепанного слоя и величины остаточных сжимающих напряжений. Кроме того, на предел выносливости влияет не только чистота поверхности изделия, но и режим технологического процесса ее получения.

Обкатка поверхности образца роликом под определенным давлением вызывает наклеп, повышающий остаточные напряжения сжатия и предел выносливости сплава.

Обдувка дробью повышает циклическую прочность металлических материалов также за счет наклепа и создания остаточных сжимающих напряжений в поверхностном слое.

Частота нагружения. Изменение частоты нагружения в интервале от 500 до 5000 циклов в минуту не вызывает заметного изменения предела выносливости, а дальнейшее увеличение до 600 тыс. циклов в минуту приводит к его повышению. Но в ряде случаев частота нагружения может оказывать заметное влияние на ход кривой усталости и на величину условного предела выносливости. В области низких частот (менее 100 циклов в минуту) долговечность некоторых сплавов заметно снижается, особенно с уменьшением амплитуды действующего напряжения.

Состав и структура материала. Циклическая прочность так же, как и статическая, зависит от химического состава и структуры материала. Предел выносливости у большинства металлических материалов растет с увеличением предела прочности и для

стали приближенно равен $0,5\sigma_b$, а для медных сплавов $0,35\sigma_b$.

Влияние размера зерна на циклическую прочность у различных материалов различно и обусловлено сопротивляемостью тела зерна и его границ разрушению. При разрушении внутри зерен границы препятствуют распространению трещин, поэтому мелкозернистая структура оказывает более высокое сопротивление усталости.

Масштабный фактор. С увеличением размеров образца предел его выносливости понижается. Наиболее интенсивное снижение предела выносливости наблюдается при увеличении диаметра образца от 5 до 25—30 мм. При дальнейшем же увеличении размера образцов оно замедляется.

По данным испытаний, снижение предела выносливости металлических образцов, вырезанных из корневых сечений лопастей крупных гребных винтов весом около 26 т, по сравнению с отдельно отлитыми, составляет для латуни 30%, а для марганцово-алюминиевой и алюминиево-никелевой бронз — 20%.

Влияние среды. Вода, особенно морская, является агрессивной средой и вызывает резкое снижение циклической прочности сталей и цветных сплавов. Это объясняется тем, что защитная пленка окислов разрушается под действием переменных нагрузжений и в результате неравномерной коррозии образуется большое количество микроскопических поверхностных концентраторов, дающих начало трещинам.

Кривая усталости для углеродистых сталей в условиях коррозионной среды не имеет горизонтального участка, с увеличением числа циклов предел выносливости все время уменьшается и циклическая прочность обычной стали в коррозионной среде оценивается условным пределом выносливости при определенном числе циклов. Это относится и к легированным нержавеющим сталям.

В таблице 2 приведены значения предела выносливости σ_{-1} различных материалов гребных винтов в 3%-ном растворе NaCl, полученные при испытаниях образцов на базе 10^7 циклов.

Воздействие концентраторов напряжений на предел выносливости в коррозионной среде для сталей и цветных сплавов различно: при испытаниях гладких образцов и образцов с надрезом в 3%-ном растворе NaCl у сталей, в том числе нержавеющих, наблюдается резкое снижение предела выносливости, в то время как у цветных сплавов он почти не меняется.

Из сравнения данных по статической и циклической прочности и коррозионно-эрозионной стойкости (табл. 1 и 2) видно, что гребные винты, испытывающие относительно большие циклические нагрузки, целесообразно изготавливать из алюминиево-никелевой или марганцово-алюминиевой бронз.

Нержавеющие стали, обладающие высокими показателями статической прочности и коррозионно-эрозионной стойкости, по циклической прочности равноценны латуням.

Таблица 2. Пределы выносливости различных материалов в 3%-ном растворе NaCl на базе 10^7 циклов.

Материалы	σ_{-1} , МПа	
	Образцы	
	гладкий	с надрезом
Латуни:		
ЛМцЖ55-3-1	110	85
ЛАМцЖ67-5-2.2	150	135
Бронзы:		
Бр.АЖН9-4-4	180	180
«Нева-70»	180	170
Нержавеющая сталь 1Х14НД	180	90
Углеродистая сталь 25Л	80	40
Нейлон	—	15
Стеклопластик	—	45

Капролон в качестве материала лопастей гребных винтов

Капролон, как и нейлон, относится к классу полиамидов. Этот синтетический

материал представляет собой полимер белого или кремового цвета.

Достоинствами капролона являются антикоррозионная стойкость, что позволяет применять его в морской среде, высокая

износостойкость, вибростойкость, достаточная пластичность при приработке, и высокие антифрикционные свойства. Кроме того, капролон гораздо легче бронзы и стали, его плотность лишь немногим превышает плотность воды.

Поэтому в ряде случаев капролон используется в качестве материала при изготовлении элементов судовых механизмов.

Данные экспериментальных исследований на циклическую прочность «капролона В» представлены в таблице 3 [10].

Таблица 3. Пределы выносливости «капролона В» при различных характеристиках образцов.

Характеристика образцов «капролона В»	Влагосодержание, %	σ_{-1} , МПа
С большой галтелью (радиус 10 мм)	<0,2	27
С малой галтелью (радиус 0,8 мм)	<0,2	27
С канавками (радиус 1 мм)	<0,2	27
Термически обработанные с малой галтелью (радиус 0,8 мм)	<0,2	36
Выдержанные в морской воде с малой галтелью (радиус 0,8 мм)	6,0	14

Отсюда видно, что материал при знакопеременном изгибе нечувствителен к таким концентраторам напряжений как галтель малого радиуса равного 0,8 мм и полукруглая канавка радиусом 1 мм.

Термическая обработка при температуре до 100° в масляной ванне дает определенный положительный эффект — предел выносливости увеличивается на треть.

Влияние влагосодержания на циклическую прочность «капролона В» оценивалось испытанием модельных образцов материала в морскую воду на 150 дней. Так, увеличение влагосодержания до предельного насыщения материала образца приводит к уменьшению циклической прочности — предел выносливости уменьшается фактически вдвое.

Отсюда следует, что капролон не только обладает малым удельным весом, но и хорошими прочностными свойствами. Таким образом, он может с успехом применяться для изготовления лопастей гребных винтов очень малого веса.

Выводы

В работе рассмотрены основные разрушающие факторы, действующие на элементы судового движителя, в том числе, на лопасти гребного винта. Проведен обзор возможных повреждений винта под действием внешних влияний, при этом учтены факторы, ускоряющие процесс разрушения. Установлено, что перемещения лопастей при работе винта носят циклический характер, что позволяет применить для исследования их напряженно – деформированного состояния ряды Фурье, в том числе разложение в ряд

циклических нагрузок, действующих на судно в целом и на винты в частности. Примером таких нагрузок может служить бортовая и килевая качка, с достаточной степенью точности, представляющая периодический процесс. Наложение периодического внешнего воздействия на собственные частоты колебаний лопастей вызывает резонансные эффекты, резко увеличивающие амплитуду напряжений в элементах винта. В работе предложен способ нахождения собственных частот колебаний лопастей путем выделения тригонометрического ряда из степенного, соответствующего решению дифференциального уравнения колебаний.

Установлено, что наибольшие сжимающие напряжения в сечении лопасти возникают в точке С, а наибольшие растягивающие — в точке D (рисунок 3, 4).

Показано, что при нагрузке циклического характера на элементы движителя судна расчет их прочности необходимо выполнять с учетом показателей долговечности материалов, из которых они изготовлены. При этом необходимо располагать характеристиками эксплуатационных режимов нагружения.

Установлена необходимость определения частот свободных колебаний лопастей, что актуально для крупногабаритных гребных винтов (диаметром больше 4—5 м).

Произведен анализ возможности использования различных типов конструкционных материалов для изготовления лопастей винтов.

Список литературы

1. Кацман Ф.М. Конструирование винто-рулевых комплексов морских судов./Ф.М. Кацман, Г.М. Кудреватый – Л.: Судостроение, 1974. – 276с.
2. Басин А.М. Теория и расчет гребных винтов./А.М. Басин, И.Я. Миниович – Л.: Судпромгиз, 1963. – 760 с.
3. Lin H.J., Lin J.J., Chuang T.J. Strength Evaluation of a Composite Marine Propeller Blade. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2005;24(17):1791-1807. doi:10.1177/0731684405052199
4. Терентьев В.Ф. Циклическая прочность металлических материалов./В.Ф. Терентьев, А.А. Оксогоев – Новосибирск, НГТУ, 2001 – 61с.
5. Bertoglio, C., and Rizzo, C. M. (2016) Survey on fatigue strength of cast bronzes intended for marine propellers. Fatigue Fract Engng Mater Struct, 39: 793– 816. doi: 10.1111/ffe.12440.
6. Картышов А. В. Гребные винты из хромомарганцевой стали./А.В. Картышов – Л.: Судостроение, 1969 – 184 с.
7. Соколов Н.Н. Гребные винты из алюминиевой бронзы./Н.Н. Соколов, С.П. Лазаренко, В.И. Журавлев – Л.: Судостроение, 1971. – 288с.
8. G. Pantazopoulos, S. Papaefthymiou. Failure and Fracture Analysis of Austenitic Stainless Steel Marine Propeller Shaft J Fail. Anal. and Preven. (2015) 15:762–767 doi: 10.1007/s11668-015-0024-7
9. Иванова В.С. Синергетика и усталостное разрушение металлов./В. С. Иванова – М.: Наука, 1989. – 246 с.
10. Неменко А. В. Оценка циклической прочности капролона для элементов судовых механизмов. /А.В. Неменко//Вестник СевНТУ, №120(2011) – С.350-354.

References

1. Kacman F.M. Konstruirovanie vinto-rulevyh kompleksov morskikh sudov./F.M. Kacman, G.M. Kudrevatyj – L.:Sudostroenie, 1974. – 276s.
2. Basin A.M. Teorija i raschet grebnyh vintov./A.M. Basin, I.Ja. Miniovich – L.: Sudpromgiz, 1963. – 760 s.
3. Lin H.J., Lin J.J., Chuang T.J. Strength Evaluation of a Composite Marine Propeller Blade. Journal of Reinforced Plastics and Composites. 2005;24(17):1791-1807. doi:10.1177/0731684405052199
4. Terent'ev V.F. Ciklicheskaja prochnost' metallicheskih materialov./V.F. Terent'ev, A.A. Oksogoev – Novosibirsk, NGTU, 2001 – 61s.
5. Bertoglio, C., and Rizzo, C. M. (2016) Survey on fatigue strength of cast bronzes intended for marine propellers. Fatigue Fract Engng Mater Struct, 39: 793– 816. doi: 10.1111/ffe.12440.
6. Kartyshev A. V. Grebnye vinty iz hromomargancevoj stali./A.V. Kartyshev – L.: Sudostroenie, 1969 – 184 s.
7. Sokolov N.N. Grebnye vinty iz aljuminievoj bronzy./N.N. Sokolov, S.P. Lazarenko, V.I. Zhuravlev – L.: Sudostroenie, 1971. – 288s.
8. G. Pantazopoulos, S. Papaefthymiou. Failure and Fracture Analysis of Austenitic Stainless Steel Marine Propeller Shaft J Fail. Anal. and Preven. (2015) 15:762–767 doi: 10.1007/s11668-015-0024-7
9. Ivanova V.S. Sinergetika i ustalostnoe razrushenie metallov./V. S. Ivanova – M.: Nauka, 1989. – 246 s.
10. Nemenko A. V. Ocenka ciklicheskoj prochnosti kaprolona dlja jelementov sudovyh mehaniz-mov. /A.V. Nemenko//Vestnik SevNTU, №120(2011) – S.350-354.

УДК 621.431

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Б.Ю. Баскаков¹, Д.Р. Орленко¹, М.М. Никитин¹, А.В. Неменко¹

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

Аннотация

Проблема уменьшения износа деталей движения актуальна при проектировании и эксплуатации современных судовых ДВС в связи с высоким уровнем их форсирования и необходимостью работы на низкосортных сортах топлива наподобие Heavy Fuel Oil. В настоящей работе проведён обзор конструктивных особенностей деталей движения современных ДВС: коленчатого вала, шатуна, поршня и поршневых колец. Рассмотрены слабые места конструкции, вызывающие усиленный износ подшипников скольжения в кинематических парах. Предложена математическая модель износа подшипника скольжения, вращающегося с переменной скоростью, в котором несущие свойства создаются поступающим маслом, содержащим абразивные частицы. Учитывается диаметр частиц, их концентрация, скорость вращения втулки подшипника относительно неподвижной шейки и ряд других параметров. Предложенная

математическая модель использована для анализа и ранжирования факторов, вызывающих наибольший износ головного подшипника цилиндра. На основании полученной формулы для съема металла в единицу времени построены весовые и ценовые функции, позволяющие оценить целесообразность каждого мероприятия по повышению износостойкости применительно к конкретному двигателю при условии задания соответствующих коэффициентов. Проанализированы дальнейшие резервы повышения износостойкости в проектировании и эксплуатации судовых ДВС.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, судовой дизель, детали движения, износостойкость, головной подшипник

OPTIMIZATION OF MOTION PARTS WEAR RESISTANCE IN A MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

B.Yu. Baskakov, D.R. Orlenko, M.M. Nikitin, A.V.Nemenko

FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053

Abstract

The problem of reducing the wear of motion parts is relevant in the design and operation of modern ship internal combustion engines due to the high level of their forcing and the need to operate on low-grade fuels like Heavy Fuel Oil. This paper provides an overview of the design features of the movement parts of modern internal combustion engines: the crankshaft, connecting rod, piston and piston rings. Weaknesses of the design, causing increased wear of sliding bearings in kinematic pairs, are considered. A mathematical model of the wear of a sliding bearing rotating at a variable speed is proposed, in which the bearing properties are created by the incoming oil containing abrasive particles. The diameter of the particles, their concentration, the speed of rotation of the bearing sleeve relative to the stationary pin, and a number of other parameters are taken into account. The proposed mathematical model is used to analyze and rank the factors causing the greatest wear of the cylinder head bearing. Based on the obtained formula for metal removal per unit of time, weight and price functions are constructed, which make it possible to assess the feasibility of each measure to improve wear resistance in relation to a specific engine, provided that the appropriate coefficients are set. Further reserves of increasing wear resistance in the design and operation of ship internal combustion engines are analyzed.

Key words: internal combustion engine, marine diesel engine, motion parts, piston bearing

Износ деталей движения является важной проблемой работы судовых двигателей внутреннего сгорания. Его последствиями являются снижение эффективности работы двигателя вследствие ухудшения компрессии, а также засорение маслоподводящих сверлений в деталях, что вызывает резкое повышение температуры подшипников скольжения и может привести к выплавлению белого металла и к задиру. Признаками чрезмерного износа служат падение давления масла в масляной магистрали, возникновение шумов и стуков в подшипниках и деградация смазочного масла вследствие прорыва газов из рабочих полостей цилиндров

Из-за переменного характера нагрузок, особенностей работы и условий смазки износ деталей движения неравномерен. Интенсивность износа во многом зависит от условий и режима эксплуатации. Конструктивные особенности двигателей обуславливают характер износа деталей.

Рассмотрим причины износа элементов деталей движения ДВС. К деталям движения относятся следующие основные элементы: коленчатый вал (кривошипа), шатун, поршень (ползун), цилиндр поршня.

Коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания работают в условиях воздействия периодических нагрузок от сил давления газов и от сил инерции возвратно-поступательно движущихся и вращающихся масс, вызывающих появление скручивающих и изгибающих напряжений. Кроме того, на валу возникают дополнительные напряжения, вызываемые крутильными колебаниями и колебаниями изгиба.

Вследствие таких условий работы в коленчатых валах возникают следующие дефекты: износ шатунных и коренных шеек, износ шейки под сальник, износ шейки под распределительную шестерню, износ отверстий под болты во фланце, износ отверстий под шарикоподшипник, износ шпоночной канавки и другие.

Для повышения износостойкости трущихся поверхностей они должны постоянно смазываться. Для этого в шейках коленвала предусмотрены отверстия для подачи смазочных материалов во время эксплуатации.

Следующим элементом, подверженным износу, является шатун. Для него характерны

следующие износы отверстий в нижней и верхней головках.

Износ отверстия под втулку в верхней головке неравномерен, имеет форму эллипса, большая ось которого совпадает с осью шатуна. Характер износа обусловлен особенностью нагрузки шатуна. Из-за относительно большой стоимости шатунов используются специальные вкладыши и втулки, устанавливаемые непосредственно в отверстия головок шатуна. Они также подвержены износу, но стоимость их замены в несколько раз ниже стоимости замены шатуна.

Износ поршней в основном обусловлен воздействием горячих газов спод большим давлением и трением о стенки цилиндра. Повышение прочности поршня при воздействии высоких давления и температуры возможно путем создания поршня специальной формы и из особых материалов менее подверженных механическим и термодинамическим нагрузкам. Снижения же трения достигается с помощью использования смазочных материалов в зазорах между стенками поршня, поршневыми кольцами, и стенками цилиндра.

Цилиндры изнашиваются в основном в результате трения поршневых колец, действия абразивных частиц о поверхности цилиндров. В процессе сгорания топлива в цилиндре резко повышаются температура и давление газов. Газы проникают за поршневые кольца и прижимают их к зеркалу цилиндра, вследствие чего повышается удельное давление колец на поверхность цилиндра. Возрастание удельного давления поршневых колец на стенку цилиндров приводит к резкому увеличению силы трения во время движения колец, выдавливанию масляного слоя из-под них, вследствие чего между кольцами и цилиндром возникает граничное трение.

Величина зазоров в подшипниках скольжения определяет условия их работы. Чрезмерный зазор вызывает срыв масляного клина и потерю несущей способности подшипника, что может привести к его разрушению в процессе работы. Увеличение зазора происходит вследствие износа рабочих поверхностей, поэтому для оценки возможностей противодействия этому явлению на этапах проектирования и эксплуатации требуется математическая модель явления, учитывающая факторы, которыми возможно управлять.

Рассмотрим случай износа подшипника, в котором втулка вращается вокруг шейки, что практически применимо к головному

подшипнику кривошипно-ползунного механизма, соединяющему ползун (поршень) с шатуном. В этом подшипнике втулка, являющаяся составной частью шатуна, совершает сложное движение, которое может быть разложено на вращение вокруг шейки, называемой поршневым пальцем и неподвижно соединённой с поршнем, и поступательное движение вместе с поршнем.

В качестве характеристики износа будем рассматривать разность начального и текущего радиусов втулки r_i и r_0 в зависимости от времени

$$\Delta r_i = r_i - r_0 \quad (1)$$

Тогда задачу достижения наи-большей износостойкости можно формализовать в виде задачи минимизации наибольшего значения (1) как функционала варьируемых параметров и порядкового номера i

$$\max \{ \Delta r(i, p_1, p_2, \dots, p_n) \} = \min_{i \in N}, \quad (2)$$

Для решения задачи будем считать, что при любой комбинации параметров величина Δr_i монотонно возрастает, стремясь к асимптотическому значению при неограниченном возрастании времени. Величина этого значения может принимать все действительные значения из интервала $[0, \infty)$, тогда наилучшим из возможных значений (2) будет

$$\max \{ \Delta r(t, p_1, p_2, \dots, p_n) \} = 0, \quad (3)$$

При неограниченных диапазонах параметров с равной затратностью изменения каждого из них предпочтительным мероприятием по обеспечению износостойкости будет задание их значений, обеспечивающих выполнение (3).

В случае различной затратности изменения каждого параметра представляет интерес задача минимизации общей стоимости мероприятия.

Введём для каждого из параметров p_k целевую функцию $C_{pk}(p_k)$ показывающую экономические затраты на поддержание параметром своего значения. Также введём функцию затрат вследствие предельно возможного износа $C_{\Delta r}(\max \{ \Delta r \})$. Тогда оптимальными будут те значения параметров $p_1, \dots, p_m$, которые обеспечат минимум суммарных затрат

$$\sum_{i=1}^m C_{p_k}(p_k) + C_{\Delta r}(\max\{\Delta r(p_1, \dots, p_m)\}) = \min, \quad (4)$$

где, целевые функции считаются заданными, а максимум износа задаётся соотношением (6), в которое входит коэффициент (2), составленный из этих же параметров. В общем виде эта задача решается методами нелинейной оптимизации.

Рассмотрим случай, когда предельный радиус втулки описывается соотношением, полученным в [3]

$$\max\{\Delta r(t, p_1, p_2, \dots, p_n)\} = r_0 \cdot \left(e^{\frac{V}{Q} \cdot k \cdot n_0} - 1 \right) \quad (5)$$

где V – объём полости подшипника на момент начала загрязнения, м^3 , Q – расход смазочного масла через подшипник, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, n_0 – начальное количество частиц, r_0 – начальный радиус втулки, м , k – величина, определяемая соотношением

$$k = \frac{f^2 \cdot d^5 \cdot \omega^4 \cdot \rho_a^2}{216H \cdot v \cdot \rho_{ж} \cdot L}, \quad (6)$$

где f – коэффициент трения, d – средний диаметр частиц, м , ω – средняя угловая скорость втулки, $\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$, ρ_a – плотность частиц, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, H – твёрдость втулки, Па , $\rho_{ж}$ – плотность смазки, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, v – кинематическая вязкость смазки, $\text{м}^2/\text{с}$; L – длина втулки, м .

Здесь точное решение оптимизационной задачи в форме (3) достигается при выполнении хотя бы одного из условий, входящих в множество

$$\{(Q = \infty), (n_0 = 0), (d = 0), (\omega = 0), (f = 0), (\rho_a = 0), (H = \infty), (v = \infty), (\rho_{ж} = \infty), (L = \infty)\}. \quad (7)$$

Так как бесконечные и нулевые значения физически не реализуемы, то нулевые значения следует заменить минимальными, а бесконечные – максимальными из возможных:

$$\{(Q = \max), (n_0 = \min), (d = \min), (\omega = \min), (f = \min), (\rho_a = \min), (H = \max), (v = \max), (\rho_{ж} = \max), (L = \max)\} \quad (8)$$

В практике проектирования и эксплуатации может иметь место другая задача, которую назовём локальным повышением износостойкости. Заданы те же целевые функции, что и в предыдущем случае. Параметры заданы и могут быть изменены каждый на малую величину. Требуется определить наиболее предпочтительные параметры для снижения суммарных затрат, стоящих в левой части (4).

После преобразований получим, что наиболее предпочтительным параметром для повышения износостойкости с его помощью будет параметр с индексом, удовлетворяющим соотношению

$$i = \arg \max \left(\left| \frac{\partial C_{p_i}}{\partial p_i} + \frac{\partial C_{\Delta r}}{\partial p_i} \right| \right). \quad (9)$$

$$\text{где } \{p_1, p_2, \dots, p_n\} = \{Q, n_0, d, \omega, f, \rho_a, H, v, \rho_{ж}, L\}. \quad (10)$$

В частности, задав все целевые функции постоянными и используя соотношения (2) и (6), проранжируем все параметры (10) по степени их предпочтительного использования для повышения износостойкости по убыванию. В результате получим следующую последовательность из отдельных параметров и их множеств $d, \omega, \{f, \rho_a\}, \{H, v, \rho_{ж}, L, Q, n_0\}$. (11)

Элементы (11), стоящие в фигурных скобках, оказывают равное влияние на износостойкость, так, эквивалентными мероприятиями оказываются повышение твёрдости вкладыша и снижение концентрации абразивных частиц. Оба этих мероприятия будут менее эффективными, чем снижение средней скорости качания шатуна, а последнее – чем уменьшение среднего диаметра абразивных частиц.

В реальной практике эксплуатации, ценовые функции всех этих мероприятий будут различными, так, снижение скорости качания шатуна может оказаться невозможным из-за эксплуатационных требований к стабильности частоты вращения вала отбора мощности, соответственно, ценовая функция такого мероприятия будет стремиться к бесконечности. Вместе с тем, мероприятия по очистке масла вполне могут быть проведены, хотя и с разной степенью эффективности, так что ценовые функции диаметра частиц и их начальной концентрации будут существовать.

Таким образом, повышение износостойкости может осуществляться многими путями, практическая реализация которых зависит от имеющихся возможностей при проектировании двигателя и его технической эксплуатации.

Выводы

Повышение износостойкости деталей движения судовых двигателей внутреннего сгорания является важной задачей при их проектировании и в эксплуатации. В настоящей работе были рассмотрены основные закономерности износа отдельных элементов

цилиндро-поршневой группы и проведён сравнительный анализ факторов, влияющих на износ втулки головного подшипника. В качестве расчётной использовалась модель [3] износа втулки абразивными частицами, единоразово попавшими в смазочное масло и удаляющимися из полости подшипника с течением времени.

В результате были получены рекомендации (8) по выбору минимального либо максимального значения для совокупности факторов, минимизирующие максимальное увеличение радиуса втулки подшипника при рассматриваемом характере износа. Формула (9) позволяет осуществить выбор одного фактора в случае если та же задача связана с эксплуатационными либо финансовыми ограничениями. Ранжирование

факторов по значимости в случае равной затратности изменения каждого из них даётся формулой (11).

В целом, количественно обоснованы известные из практики результаты: чтобы не было износа, в масле не должно быть абразивных частиц, втулка подшипника должна вращаться как можно медленнее, коэффициент трения должен быть минимален и т.д. Интересным результатом оказалась сильная (в V степени) зависимость величины износа от диаметра абразивных частиц. Нам представляется, что полученные результаты для головного подшипника могут быть качественно распространены на остальные элементы цилиндрико-поршневой группы и двигателя в целом.

Список литературы

1. Возникий И.В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин/ И.В. Возникий//С-Пб.: Моркнига, 2006. –116 с.
2. Calde rN. Marine Diesel Engines – Maintenance, Troubleshooting and Repair. 3rd Edition. — International Marine, McGraw-Hill, 2007. 610 p.
3. Неменко А.В. Исследование абразивного износа подшипника скольжения/А.В. Неменко, М.М. Нигитин// материалы междунаучно-техн. конф. «Надёжность и долговечность механизмов, элементов конструкций и биомеханических систем, Севастополь 1 – 4 сент. 2004, С.63 – 66.
4. Возникий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. В 2-х т. Том 1/И.В. Возникий//С-Пб.: Моркнига, 2007. – 285 с.
5. Кавьяров В.И. Надёжность двигателей/В.И. Кавьяров//Челябинск: Изд-во: ЮУрГУ, 2006. — 105 с.
6. Петров Г.Г. Влияние качества очистки топлива на надёжность двигателей дорожных машин/Г.Г. Петров, В.А. Доценко, А.В. Лысунец//Известия Томского политехнического ун-та, 2005. т.308, №2 — с. 108-110
7. Lakshminarayanan P.A., Nayak N.S. Critical Component Wear in Heavy Duty Engines. Wiley, 2011.352 p.
8. Гоц А.Н. Повышение износостойкости шеек коленчатого вала/А.Н. Гоц//Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6.[Электронный ресурс] <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5091>

References

1. Voznickij I.V. Povrezhdenija i polomki dizelej. Primery i analiz prichin/ I.V. Voznickij//S-Pb.: Morkniga, 2006. –116 s.
2. Calde rN. Marine Diesel Engines – Maintenance, Troubleshooting and Repair. 3rd Edition. — International Marine, McGraw-Hill, 2007. 610 p.
3. Nemenko A.V. Issledovanie abrazivnogo iznosa podshipnika skol'zhenija/A.V. Nemenko, M.M. Niritin// m-ly mezhhd. nauchno-tehn. konf. «Nadjozhnost' i dolgovechnost' mehanizmov, jelementov konstrukcij i biomehanicheskikh sistem, Sevastopol' 1 – 4 sent. 2004, S.63 – 66.
4. Voznickij I.V. Sudovyje dvigateli vnutrennego sgoranija. V 2-h t. Tom 1/I.V. Voznickij//S-Pb.: Morkniga, 2007. – 285 s.
5. Kav'jarov V.I. Nadjozhnost' dvigatelej/V.I. Kav'jarov//Cheljabinsk: Izd-vo: JuUrGU, 2006. — 105 s.
6. Petrov G.G. Vlijanie kachestva ochistki topliva na nadjozhnost' dvigatelej dorozhnyh mashin/G.G. Petrov, V.A. Docenko, A.V. Lysunec//Izvestija Tomskogo politehnicheskogo un-ta, 2005. t.308, №2 — s. 108-110
7. Lakshminarayanan P.A., Nayak N.S. Critical Component Wear in Heavy Duty Engines. Wiley, 2011.352 p.
8. Goc A.N. Povyshenie iznosostojkosti sheek kolenchatogo vala/A.N. Goc//Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. – 2011. – № 6.[Elektronnyj resurs] <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5091>

УДК621

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ СВЯЗАННОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИОГЕННОГО ОРТОГОНАЛЬНОГО РЕЗАНИЯ

Н. М. Грунин магистрант

АО"ЭЛАРА", г. Чебоксары, 428037, Россия, RICK23GRUMES@yandex.ru

Аннотация

Во время обработки Ti-6Al-4V возникают высокие тепловые нагрузки, что требует применения передовых концепций охлаждения, таких как применение жидкого азота. Эффективным подходом к анализу термомеханических механизмов, влияющих на стойкость инструмента и деформации детали, является использование связанных численных моделей. В этой работе метод конечных элементов использовался для моделирования взаимодействия инструмента и заготовки и формирования стружки, тогда как детальная обработка потока азотной жидкости и его теплопередачи решается с помощью собственной программы с использованием метода конечных разностей. Оба моделирования связаны соответствующими граничными условиями, которые итеративно обновляются во время расчета. В данной статье приведена модель, описывающая криогенный теплообмен жидким азотом, истекающим через горячую поверхность, с учетом зависимости от различных параметров теплового потока. Подобранный модель позволяет адаптировать параметры потока к определенным ситуациям, что дает возможность определить коэффициент теплопередачи для различного количества приложений. Для проверки модели был разработан и проведен базовый эксперимент (с относительно простой геометрией), который дает доступ к выполнению всесторонних измерений характеристик охлаждения.

Ключевые слова: криогенная обработка; термический анализ; совместное моделирование, коэффициент теплопередачи, охлаждающая среда

THERMOMECHANICALLY COUPLED NUMERICAL SIMULATION OF CRYOGENIC ORTHOGONAL CUTTING

N.M.Grunin magistr

АО"ЭЛАРА", Cheboksary, 428037, Russia, RICK23GRUMES@yandex.ru

Abstract

During machining of Ti-6Al-4V, high thermal loads arise, which demand for advanced cooling concepts, such as the application of liquid nitrogen. An efficient approach to analyze the thermomechanical mechanisms which influence the tool life and the workpiece distortions is the usage of coupled numerical simulations. In this work, the Finite-Element-Method was used to simulate the tool-workpiece-interaction and the chip formation, whereas the detailed treatment of the nitrogen fluid flow and its heat transfer is solved by an in-house program using the Finite-Difference-Method. Both simulations are coupled by appropriate boundary conditions, which are updated iteratively during the calculation. This article presents a model describing cryogenic heat exchange by liquid nitrogen flowing through a hot surface, taking into account the dependence on various parameters of the heat flow. The fitted model allows the flow parameters to be adapted to specific situations, which makes it possible to determine the heat transfer coefficient for a different number of applications. To validate the model, a basic experiment (with a relatively simple geometry) was developed and performed, which gives access to comprehensive measurements of cooling performance.

Keywords: cryogenic machining; thermal analysis; coupled simulation, heat transfer coefficient, cooling medium

Сплав Ti-6Al-4V, рассматриваемый в данной работе, является обычным материалом для легких применений из-за его хорошей удельной прочности. Однако такие свойства материала, как высокая пластичность, прочность и низкая теплопроводность, вызывают высокие тепловые нагрузки и серьезный износ инструмента во время обработки. Для таких труднообрабатываемых материалов критически важно технологическое охлаждение. В этой работе в

качестве охлаждающей среды используется жидкий азот (LN₂). LN₂ нетоксичен, безвреден для окружающей среды и имеет большой охлаждающий потенциал. Отсутствие режущей эмульсии и предотвращение окисления LN₂ также упрощает переработку стружки. В данной работе рассматриваются различные варианты применения LN₂, а именно охлаждение передней поверхности и внутреннее охлаждение инструмента. Численное моделирование используется здесь

для разработки и корректировки каждого варианта, а также для оценки его эффективности и действенности. Моделирование состоит из модели теплопередачи и конечного элемента моделирование стружкообразования. Обе модели связаны граничными условиями в зависимости от применения охлаждения.

Обработка с помощью LN_2 изучалась многими исследователями в течение последних 20 лет. Среди прочего, научный интерес представляет взаимодействие между теплопередачей режущего инструмента, материала заготовки и охлаждающей среды LN_2 .

Теплопередача при охлаждении LN_2

Криогенные среды, например LN_2 широко используются в различных приложениях для механической обработки для создания четко определенного теплового потока от заготовки и инструмента [11].

Жидкий азот особенно эффективен в качестве криогенной охлаждающей жидкости, так как, с одной стороны, высокая разница температур между охлаждаемым объектом и жидкостью ведет к большим температурным градиентам и соответственно к высокому охлаждающему эффекту [11]. С другой стороны, энергия, которая извлекается из твердого вещества в жидкость, используется для преодоления энтальпии испарения [11], в результате чего возникает поток испарения без дальнейшего повышения температуры жидкости [3].

Однако для моделирования таких процессов криогенного охлаждения необходимо учитывать не только жидкую фазу, но также газовую фазу и процесс испарения. Кроме того, двухфазный режим сильно влияет на результирующую теплопередачу [3].

Физические свойства азота существенно меняются в процессе испарения и связанного с ним фазового перехода [4]. В то время как удельная теплоемкость уменьшается только в 1,5 раза, решающий фактор для передачи тепла, теплопроводность, уменьшается до 20 раз в зависимости от перехода от жидкости к газу.

Более того, еще одно явление, которое часто возникает при использовании жидкого азота в качестве охлаждающей среды, - это эффект Лейденфроста [5]. Если температура охлаждаемой поверхности превышает так называемую температуру Лейденфроста, между жидкостью и твердой поверхностью образуется изолирующий газовый слой, который предотвращает любой прямой

контакт жидкости и твердого тела [5, 6]. На основании уже упомянутого неблагоприятного изменения теплопроводности, теплопередача и, следовательно, охлаждающий эффект значительно уменьшаются [7].

LN_2 вспомогательная обработка титановых сплавов

Хонг и Дин [11] сравнили токарную обработку Ti-6Al-4V без применения эмульсии и LN_2 . Подходы были исследованы экспериментально и упорядочены с помощью возникающих температур инструмента (от самой высокой до самой низкой): сухое резание, криогенное охлаждение инструмента, охлаждение эмульсией, предварительное охлаждение заготовки, криогенное охлаждение боковой поверхности, криогенное охлаждение передней кромки и одновременное охлаждение передней и боковой поверхности. В дополнительно проведенном FEM-моделировании применялись разумные тепловые граничные условия: коэффициент теплопередачи для криогенного охлаждения увеличивался с увеличением температуры поверхности инструмента, составляя 23,72 кВт / (м² · К) при 93 К и 46,75 кВт / (м · К) при 923 К. В документе показано, что положение приложения LN_2 имеет большое влияние на охлаждающий эффект, который может быть адекватно рассчитан с помощью моделирования методом конечных элементов. Однако ни моделируемые механические нагрузки не сравнивались с экспериментами, ни базовая геометрия стружки.

Бирмингем и др. [8] исследовали эффективность криогенного охлаждения при точении Ti-6Al-4V при постоянной скорости резания. Резку с передним и боковым охлаждением сравнивали с сухой резкой. Применение LN_2 продлило срок службы инструмента на 43–58%. Увеличение скорости подачи и уменьшение толщины резания для сохранения той же скорости съема материала резко снизили срок службы инструмента в обоих случаях, при сухой резке и резании LN_2 . Это означает, что охлаждение LN_2 снижает температуру инструмента только до определенной степени.

Бордин и др. [9] исследовали сухую токарную обработку и токарную обработку с помощью LN_2 аддитивно произведенного Ti-6Al-4V с помощью экспериментов и моделирования методом конечных элементов. Криогенное охлаждение было реализовано на боковой поверхности и на новой поверхности детали с коэффициентом теплопередачи 20 кВт / (м²К) и температурой азота 77 К.

Параметры материала и коэффициенты трения были откалиброваны для соответствия силам резания для двух экспериментальных наборов параметров. Таким образом, тенденции сил резания и температуры были предсказаны правильно.

Давудинежад и др. [10] исследовали сухую и ортогональную резку Ti-6Al-4V с помощью LN₂ с помощью экспериментов и моделирования методом конечных элементов. Моделирование стружкообразования с длиной резания 2 мм было реализовано в FEM Software Advantedge с использованием предоставленной техники повторного зацепления. Криогенное охлаждение было реализовано за счет нереально высокого коэффициента теплопередачи 2000 кВт / (м · К) в радиусе 1,5 мм на передней поверхности, где никаких дополнительных пояснений не дается.

Солнцев и др. [11] сравнили поток охлаждающей жидкости с минимальным количеством смазки (MQL) и токарную обработку Ti-5553 с помощью LN₂ путем экспериментов и моделирования методом конечных элементов. Адгезия механизмов, управляемых температурой, и кратерный износ были определены как решающие для износа инструмента. Следовательно, охлаждение LN₁ привело к наименьшему износу инструмента, за которым последовало охлаждение заливкой и MQL. В FEM Simulation криогенное охлаждение реализовано с помощью окна теплообмена на боковой поверхности с коэффициентом передачи 10000 кВт / (м ° К), что даже выше, чем в [10].

Обзор литературы показывает, что охлаждение LN₂ эффективно снижает температуры при обработке титановых сплавов и тем самым снижает адгезию инструмента к заготовке и износ инструмента. Это обеспечивает срок службы инструмента до нескольких минут. Для таких процессов можно предположить стационарное термическое состояние инструмента, которое, в свою очередь, необходимо учитывать при численном моделировании резания. Для достаточного охлаждения LN₂ при моделировании ортогонального резания в некоторых случаях использовались нефизически высокие коэффициенты теплопередачи. Это может быть связано с ограниченной зоной охлаждения, которая доступна при ортогональной резке. В следующих разделах представлена модель для имитации ортогонального резания с

использованием передней поверхности или внутреннего LN₂ инструмента, которая устраняет вышеупомянутые проблемы. На первом этапе объясняется моделирование коэффициента теплопередачи при охлаждении LN₂.

Передача тепла от поверхности к теплоносителю

Метод конечных элементов - широко используемый метод для анализа операций механической обработки [1, 9, 10, 11]. Чтобы смоделировать криогенное охлаждение в дополнение к процессу механической обработки, необходимо также моделировать поведение охлаждающей жидкости.

Широко распространенным подходом к эффективному описанию скорости теплопередачи для задач конвекции является

$$q = h_{LN2} (T_{boil} - T_{surf}) \quad (1)$$

где коэффициент теплопередачи h_{LN2} может быть функцией различных параметров потока [4]. Обратите внимание, что T_{boil} - это температура кипения жидкости (и, следовательно, известная), а T_{surf} - это итеративно определяемая температура поверхности в текущем узле. Основываясь на относительно более низких колебаниях давления во время расширения жидкости в окружающую среду, T_{boil} считается постоянным. Если известно h_{LN2} , можно рассчитать результирующую интенсивность теплового потока.

Реализация криогенного охлаждения в моделировании

Успех использования уравнения. (1) зависит от точного определения h_{LN2} . На данный момент существует лишь небольшое количество опубликованных работ, описывающих h_{LN2} для криогенного случая [4]. Кроме того, существуют сильные вариации h_{LN2} для разных режимов потока, и он показывает сильную зависимость от нескольких параметров потока, таких как скорость потока, паросодержание, угол притока (переливающаяся поверхность или ударная струя) или температура поверхности [4].

Значения для h_{LN2} , которые можно найти в литературе, различаются у разных авторов, но единого описания для h_{LN2} не дано [4]. В случае падающей струи коэффициент теплопередачи варьируется от 2 кВт / (м²К) до 74,95 кВт / (м²К), при этом не используется потенциальная зависимость от температуры поверхности T_{surf} [4]. Кроме того, во многих исследованиях не приводятся подробные условия поля течения.

Разработана модель, описывающая криогенный теплообмен LN_2 , истекающего через горячую поверхность, с учетом зависимости от различных параметров потока [11].

На основе детального моделирования можно определить коэффициент теплопередачи h_{LN_2} . На рис. 1 приведены результирующие значения для интересующего диапазона температур поверхности, которые имеют тот же порядок величины, что и типичные литературные значения для падающей струи.

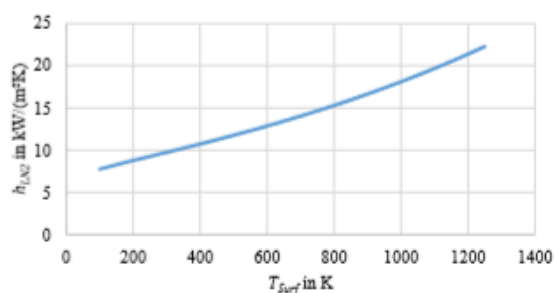


Рис. 1. Температурный коэффициент теплопередачи для интересующей скорости потока [11]

Кроме того, подробная модель позволяет адаптировать параметры потока к соответствующему случаю, чтобы дать

возможность определения h_{LN_2} для различного количества приложений.

Однако, чтобы проверить уравнение. (1), был разработан базовый эксперимент (с относительно простой геометрией), который дает доступ к выполнению всесторонних измерений характеристик охлаждения. Таким образом, образец, состоящий из Ti-6Al-4V, нагревают до температуры, соответствующей технологическому процессу, чтобы впоследствии охладить его с помощью LN_2 аналогично тому, как показано на рис. 2. Коэффициент теплопередачи, показанный на рис. 1 хорошее согласие с экспериментальными данными.

В этой работе различные подходы к криогенному охлаждению ортогонального резания Ti-6Al-4V сравнивались друг с другом и с токопроводящим охлаждением инструмента с помощью моделирования методом МКЭ. Основные выводы: Криогенное конвективное охлаждение инструмента с умеренными коэффициентами теплопередачи эффективно отводит технологическое тепло и снижает температуру инструмента, в том числе по сравнению с кондуктивным охлаждением инструмента с заданными граничными температурами.

Список литературы

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. [Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system](#) // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. [Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer](#) // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. [Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. [Mechanized spraying of liquid meliorants](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. [Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
6. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. [Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\).](#) 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.
7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. [Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
8. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. [Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки.](#) 2020. № 2 (54). С. 65-77.
9. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. [Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования // Обработка металлов \(технология, оборудование, инструменты\).](#) 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. [Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning](#) // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.

11. Stampfer B. et al. Thermomechanically coupled numerical simulation of cryogenic orthogonal cutting / Procedia CIRP 82 (2019) 438–443

Referens

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system // In: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Ser. "CEUR Workshop Proceedings" 2018.S. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer // In the collection: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018.S. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.S. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants // In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020.S. 32026.
5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019.S. 012137.
6. Chernukhin R.V., Dolgushin A.A., Kasimov N.G., Ivantsivsky V.V., Lobanov D.V., Vasiliev S.A., Martyshev N.V. Justification of the consumption characteristics of the recuperator for the thermal preparation of machinery and equipment units // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020.Vol. 22.No. 4.P. 82-93.
7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action // In the collection: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019.S. 032043.
8. Fedorova A.A., Vasiliev M.A., Vasiliev S.A. Mathematical model of the trajectory of measuring soil surface areas by circular scanning with a laser profilograph. Izvestiya vysshikh educational institutions. Volga region. Technical science. 2020. No. 2 (54). S. 65-77.
9. Vasiliev S.A., Alekseev V.V., Vasiliev M.A., Fedorova A.A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020.Vol. 22.No. 4.P. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020, p. 32021.
11. Stampfer B. et al. Thermomechanically coupled numerical simulation of cryogenic orthogonal cutting / Procedia CIRP 82 (2019) 438–443

УДК 621.922

ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛИ ЛИНИИ СКОЛЬЖЕНИЯ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗУБЧАТОЙ СТРУЖКИ ПРИ ОРТОГОНАЛЬНОМ ТОЧЕНИИ В СУХИХ УСЛОВИЯХ И ПРИ МИНИМАЛЬНОМ КОЛИЧЕСТВЕ СМАЗКИ

А. С. Поляков¹, С. А. Васильев²

¹ФГБОУ ВО Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, ул. Спиридона Михайлова 3,
г Чебоксары, Российская федерация, 428015

²ФГБОУ ВО Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, ул. Спиридона Михайлова 3,
г Чебоксары, Российская федерация, 428015

Аннотация

В этом исследовании ранее разработанная модель линии скольжения для образования зубчатой стружки была проверена при ортогональной токарной обработке в условиях сухого и МКС (минимального количества смазки). Эксперименты по торцевому точению проводились на заготовке из аустенитной нержавеющей стали AISI 304 с канавками с режущими пластинами с радиусом режущей кромки 50 мкм. Данное исследование представляет собой экспериментальную проверку ранее разработанной модели скольжения. Эксперименты по ортогональному точению проводились на аустенитной нержавеющей стали AISI 304 в условиях сухой и МКС обработки для измерения составляющих силы резания, а также максимальной и

минимальной толщины стружки. На основе валидации предложенной модели линии скольжения, была получена хорошая корреляция между экспериментальными и прогнозируемыми результатами механической обработки в сухих условиях и условиях минимального количества смазки. Кроме того, из решения модели было видно, что эффективная смазка приводит к снижению фрикционных сдвиговых напряжений инструмент-стружка. В обоих условиях компоненты силы резания уменьшались с увеличением скорости резания, а в условиях МКС были получены более низкие компоненты силы резания.

Ключевые слова: моделирование; токарная обработка; чип; смазка; эксперимент; материалы; стружка; инструмент; практика; полировка.

OPTIMIZATION OF COMPLEX CUTTING TOOLS USING A MULTI-DEXEL BASED MATERIAL REMOVAL SIMULATION

A. S. Polyakov¹, S.A. Vasil'yev²

¹FSBEI HE Chuvash State University I.N. Ulyanov, Spiridon Mikhailov Str. 3, Cheboksary, Russian Federation, 428015

²FSBEI HE Chuvash State University I.N. Ulyanov, Spiridon Mikhailov Str. 3, Cheboksary, Russian Federation, 428015

Abstract

In this study, the previously developed slip-line model for serrated chip formation was validated in orthogonal turning under dry and MKC (Minimum Quantity Lubrication) conditions. Face turning experiments were conducted on grooved AISI 304 austenitic stainless steel workpiece with tool inserts having cutting edge radius of 50. This study is an experimental test of a previously developed slip model. Orthogonal turning experiments were carried out on AISI 304 austenitic stainless steel under dry and MCS conditions to measure the cutting force components as well as the maximum and minimum chip thickness. Based on the validation of the proposed model of the slip line, a good correlation was obtained between the experimental and predicted results of machining in dry conditions and conditions of a minimum amount of lubrication. In addition, from the solution of the model it was seen that effective lubrication leads to a decrease in the frictional shear stresses of the tool-chip. In both conditions, the components of the cutting force decreased with an increase in the cutting speed, and in the conditions of the MCS, lower components of the cutting force were obtained.

Keywords: modeling; turning; chip; grease; experiment; materials; shavings; tool; practice; polishing

В литературе существует несколько моделей линий скольжения для понимания и анализа механики операций резки металла. В ранних исследованиях режущий инструмент рассматривался как острый, и с этим предположением были разработаны модели линий скольжения (1-9). Среди этих исследований Кудо (1) представил модель линии скольжения для обработки со встроенной кромкой. Майти и Дас (2) разработали модель линии скольжения для обработки с параллельным ступенчатым стружколомом, исследовал стружкодробитель (3) и предположил Кулоновское трение на границе раздела стружка-инструмент (4). Fang et al. (5) ввел универсальную модель линии скольжения, включающую скручивание стружки и обратный поток стружки при обработке с ограниченным контактным инструментом, и эта модель была подтверждена Фангом и Джавахиром (6). Фанг (7, 8) представил модель линии скольжения для острых режущих инструментов для прогнозирования сил резания, толщины стружки и длины контакта инструмента со

стружкой. Фанг и Джавахир (9) предложили аналитическую модель для прогнозирования угла обратного потока стружки с использованием ранее разработанной универсальной модели линии скольжения (5).

Впоследствии было представлено несколько моделей линий скольжения для шлифования режущими инструментами с режущей кромкой (10-16), данные модели больше подходят для практики благодаря округлости режущего инструмента. Фанг (10, 11) разработал модель скользящей линии для режущих инструментов с закругленными кромками и провел количественный анализ для прогнозирования сил резания, толщины стружки, длины контакта инструмента со стружкой и радиуса скручивания стружки вверх. Ванг и Джавахир (12) разработали модель линии скольжения для ограниченных контактных рифленых инструментов с конечным радиусом режущей кромки для прогнозирования сил резания, толщины стружки, радиуса скручивания стружки, температур и напряжений потока в первичной зоне сдвига и на границе раздела инструмент-

стружка. Джин и Алтинтас (13) ввели и экспериментально проверили модель линии скольжения, учитывающую отпуск напряжений в области деформации материала из-за радиуса режущей кромки. Озтург и Альтан (14) предложил модель скользящей линии для инструментов с закругленными краями, и эта модель включала нечувствительную металлическую зону на передней поверхности. Уисал и Альтан (15, 16) представили модели скольжения с закругленными краями (15) и изношенными закругленными кромками (16) режущих инструментов, предполагая наличие зона мертвого металла и экспериментально подтвердили эти модели. В этих исследованиях образование стружки считалось непрерывным. Однако образование зубчатой стружки происходит при обработке различных материалов, такие как нержавеющая сталь, титан и никель сплавы и т. д. Данные материалы считаются труднообрабатываемыми. Ранние работы Маньиндо и Оксли (17) представили модель скольжения для образования зубчатой стружки в обработке нержавеющей стали острым режущим инструментом. Уисал и Джавахир (18) разработали модель линии скольжения для зубчатого стружкообразования при обработке закругленными углами. Эта модель скользящей линии и связанный с ней годограф приведены на Рис. 1.

При обработке труднообрабатываемых материалов потоковое охлаждение с применением жидкостей на эмульсионной основе является обычной практикой. Данные жидкости состоят из масел, воды и/или некоторых добавок. Эти химические вещества негативно влияют на окружающую среду, а также на здоровье сотрудников (18, 19). Поэтому экологические и социальные проблемы потребовали более устойчивых операций механической обработки МКС (минимальное количество смазки) был разработан в качестве альтернативы потоковому охлаждению. В последние годы были проведены многочисленные исследования по использованию МКС при механической обработке труднообрабатываемых материалов (20-26).

Поэтому в данном исследовании модель линии скольжения для образования зубчатой стружки (Рис. 1), ранее разработанная авторами, была экспериментально подтверждена для обработки в сухих и МКС условиях аустенитной нержавеющей стали AISI 304.

Для валидации разработанной модели линии скольжения при механической обработке в сухих и MQL условиях, были проведены ортогональные токарные эксперименты. Исследуемым материалом заготовки была рифленая заготовка из аустенитной нержавеющей стали марки AISI 304, представленная на Рис 2. Этот материал заготовки очень похож на AISI 321 материал заготовки, использованной в нашей предыдущей работе [18].

Эксперименты по торцовочному точению проводились на токарном станке с ЧПУ HAAS TL-2. Экспериментальная установка показана на Рис. 3 Все эксперименты проводились с помощью Kennametal Inc. TPGN220408 непокрытых твердосплавных пластин, установленных на держатель инструмента Kennametal Inc. CTC PN544 передним углом 3° . Радиус режущей кромки пластин составлял 50 мкм. Для каждого разреза использовалась новая режущая кромка, чтобы избежать эффекта износа инструмента.

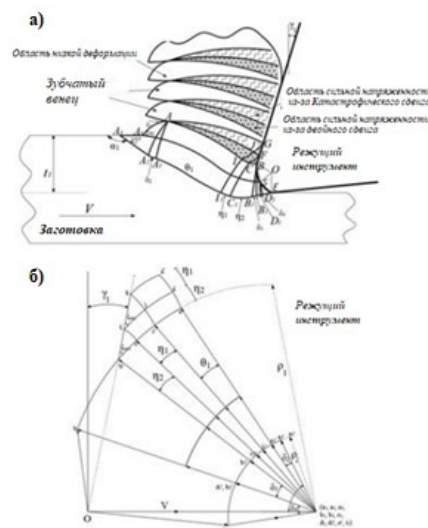


Рис. 1. а) разработанная ранее модель скольжения для образования зубчатой стружки, и (б) его годограф [18].

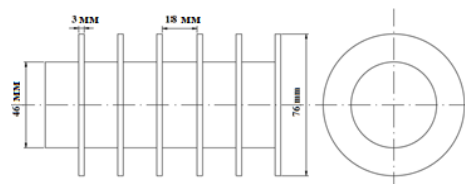


Рис. 2. Размеры заготовки из аустенитной нержавеющей стали AISI 304.

Параметры резания были выбраны на основе рекомендаций производителя и современного обзора литературы по обработке аустенитной нержавеющей стали AISI 304, и эти условия приведены в Таблице 1. В методе

МКС, смазку для металлообработки Coolube 2210EP наносили через систему UNIST MQL на поверхность грабель со скоростью потока 25 мл/ч при давлении воздуха 0,4 МПа.

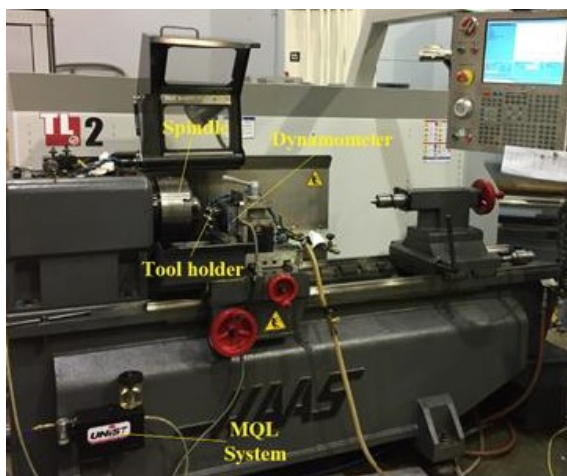


Рис. 3. Экспериментальная установка.

В ходе экспериментов компоненты силы резания измерялись 3-компонентным динамометром инструментом Kistler 9121. После проведения ортогональных испытаний на механическую обработку максимальная и минимальная толщины стружки были измерены цифровым микроскопом Keyence VHX с реальным зум-объективом VH-Z250R. По этой причине образцы стружки были установлены на эпоксидной смоле и металлургически подготовлены путем шлифования и полировки с использованием автоматической шлифовальной/полировальной машины Buehler AutometTM 250. В процессе металлургической подготовки, смонтированные образцы шлифовали / полировали наждачной бумагой SiC (#240) при 180 об/мин водой, а затем алмазной бумагой (30 мкм) при 180 об/мин с водой в течение 4

мин. Для полировки, 9 мкм алмазную суспензию использовали при 180 об/мин в течение 4 минут, 6 мкм алмазную суспензию использовали при 180 об/мин в течение 3 минут, 3 мкм алмазная суспензия использовалась при 180 об/мин в течение 2 минут и 1 мкм и 0,05 мкм Аллюминиевую суспензии использовали при 150 об/мин в течение 2 минут, соответственно. Средние значения составляющих силы резания и толщина стружки были определены и записаны для всех результаты измерений по 3-4 измерения для каждой точки данных.

Данное исследование представляет собой экспериментальную проверку ранее разработанной модели скольжения. Эксперименты по ортогональному точению проводились на аустенитной нержавеющей стали AISI 304 в условиях сухой и МКС обработки для измерения составляющих силы резания, а также максимальной и минимальной толщины стружки. На основе валидации предложенной модели линии скольжения, была получена хорошая корреляция между экспериментальными и прогнозируемыми результатами механической обработки в сухих условиях и условиях минимального количества смазки. Кроме того, из решения модели было видно, что эффективная смазка приводит к снижению фрикционных сдвиговых напряжений инструмент-стружка. В обоих условиях компоненты силы резания уменьшались с увеличением скорости резания, а в условиях МКС были получены более низкие компоненты силы резания. Кроме того, пилообразное стружкообразование отчетливо наблюдалось при механической обработке с помощью МКС благодаря наличию трибо-слоя на границе раздела стружка-инструмент.

Список литературы

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
6. Чернухин Р.В., Долгушин А.А., Касимов Н.Г., Иванцовский В.В., Лобанов Д.В., Васильев С.А., Мартюшев Н.В. Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 4. С. 82-93.

7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
8. Федорова А.А., Васильев М.А., Васильев С.А. Математическая модель траектории замера участков поверхности почвы круговым сканированием лазерным профилографом // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2020. № 2 (54). С. 65-77.
9. Васильев С.А., Алексеев В.В., Васильев М.А., Федорова А.А. Разработка и исследование профилографа для измерения отклонений формы поверхности изделий методом лазерного спиралевидного сканирования // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2020. Т. 22. № 4. С. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.
11. Альпер Уисал, Джавахир И.С. Валидация модели линии скольжения для образования зубчатой стружки при ортогональном точении в сухих условиях и при минимальном количестве смазки.

References

1. Alekseev V.V., Vasiliev S.A. Application of fuzzy logic elements under the moisture supply evaluation in the plant-soil-air system // В сборнике: Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018. Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference. Сер. "CEUR Workshop Proceedings" 2018. С. 404-409.
2. Vasiliev S., Kirillov A., Afanasieva I. Method for controlling meliorative technologies on sloping cultivated lands using large scale profilometer // В сборнике: Engineering for Rural Development. Proceedings. 2018. С. 537-542.
3. Maksimov I.I., Vasilyev S.A., Vasilyev A.A. Mechanized application of ameliorants for preservation of soil moisture on cultivated lands // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012027.
4. Vasilyev A.A., Vasilyev S.A., Shkilev N.P. Mechanized spraying of liquid meliorants // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. С. 32026.
5. Alekseev V.V., Avrelkin V.A., Vasiliev S.A. Obtaining functional dependence of friction coefficient of soil on steel // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. С. 012137.
6. Chernukhin R.V., Dolgushin A.A., Kasimov N.G., Ivantsivsky V.V., Lobanov D.V., Vasiliev S.A., Martyushev N.V. Justification of the consumption characteristics of the recuperator for the thermal unit of machines and equipment // Metal processing (technology, preparation equipment, tools). 2020. Vol. 22. No. 4. С. 82-93.
7. Alekseev V.V., Philippov V.P., Vasiliev S.A., Petrov A.A. Use of volumetric soil crushing coefficient for evaluation of mechanical action // В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. С. 032043.
8. Fedorova A.A., Vasiliev M.A., Vasiliev S.A. Mathematical model of the trajectory of measuring soil surface areas by circular scanning with a laser profilograph. Izvestiya vysshikh educational institutions. Volga region. Technical science. 2020. No. 2 (54). S. 65-77.
9. Vasiliev S.A., Alekseev V.V., Vasiliev M.A., Fedorova A.A. Development and research of a profilograph for measuring deviations of the surface shape of products by laser spiral scanning // Metal processing (technology, equipment, tools). 2020. Vol. 22. No. 4. С. 71-81.
10. Vasilyev S.A., Fedorova A.A., Vasiliev M.A. Study of profilograph features for determining the geometric characteristics of products by laser scanning // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia, 2020. С. 32021.
11. Uysal A., Jawahir I.S. Validation of the slip-line model for serrated chip formation in orthogonal turning under dry and MQL conditions.

АНАЛИЗ ПОТОКОВ ПЕРЕНАЛАДКИ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ РЕЗЬБООБРАБОТКИ

В. О. Лазуткин¹ студент, 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: 00004122@student.sevsu.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 представлены результаты теоретических исследований в направлении совершенствования оборудования для внутренней резьбообработки деталей в условиях гибкого автоматизированного производства. Рассмотрены методы оценки гибкости и переналаживаемости оборудования, которые необходимы при разработке методики синтеза гибких производственных модулей (ГПМ) в условиях автоматизированного проектирования. Технологическую систему ГПМ резьбообработки предложено рассматривать как систему, в которой переходы из состояния в состояние происходят под действием простейших потоков с параметрами вероятностей перехода непрерывной марковской цепи. Разработанная математическая модель, описывающая состояния ГПМ с учетом переналадок его технологических элементов, позволяет отразить влияние на работу модуля параметров заявок на переналадку режимов обработки, инструмента, силовой резьбонарезной головки, базовых элементов станка, приспособления, загрузочного устройства. Структура модели и размеченный граф состояний системы могут совершенствоваться по мере уточнения числа параметров и характеристик. Решение полученной системы уравнений финальных вероятностей с помощью условия нормировки позволяет для заданных (или полученных экспериментально) интенсивностей поступления и обслуживания заявок на переналадку для ГПМ резьбообработки получить значения вероятности беспереналадочной работы, а также вероятностей нахождения системы в нерабочем состоянии по причине соответствующих переналадок. Для полной информации и объективной оценки предпочтительного для использования в условиях ГПС варианта также необходим учет стохастических процессов, происходящих в системе в реальных условиях функционирования.

Ключевые слова: гибкость и переналаживаемость оборудования, внутренняя резьбообработка деталей, технологические элементы модуля, гибкий производственный модуль (ГПМ) резьбообработки, простейший поток, марковская цепь, вероятность беспереналадочной работы.

ANALYSIS OF MODULE CHANGEOVER FLOWS FOR INTERNAL THREADING

V.O. Lazutkin¹ student, A.O. Kharchenko² cand. sc. tech.,
A.A. Kharchenko³ cand. sc. tech.

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: 00004122@student.sevsu.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 theoretical research in the direction of improving equipment for internal threading of parts in flexible automated production. Methods for evaluating the flexibility and readjustment of equipment, which are necessary in the development of a method for the synthesis of flexible manufacturing module (FMM) in conditions of computer-aided design, are considered. The technological system of FMM of threading is proposed to be considered as a system in which transitions from state to state occur under the action of the simplest flows with the parameters of the transition probabilities of a continuous Markov chain. The developed mathematical

model, which describes the states of a FMM, taking into account the readjustment of its technological elements, makes it possible to reflect the influence on the operation of the module of the parameters of applications for the changeover of processing modes, a tool, a power threading head, basic elements of a machine tool, a device, a loading device. The structure of the model and the labeled graph of the states of the system can be improved as the number of parameters and characteristics is refined. The solution of the resulting system of equations of final probabilities using the normalization condition allows for given (or experimentally obtained) intensities of arrival and service of changeover requests for FMM of threading, to obtain the values of the probability of non-changeover operation, as well as the probabilities of finding the system in an inoperative state due to the corresponding changeovers. For complete information and an objective assessment of the preferred option for use in FMS conditions, it is also necessary to take into account the stochastic processes occurring in the system under real operating conditions.

Keywords: flexibility and readjustment of equipment, internal threading of parts, technological elements of the module, flexible manufacturing module (FMM) of threading, simplest flow, Markov chain, probability of non-changeover operation.

1. Введение

При создании элементов гибких производственных модулей (ГПМ) резьбообработки следует учитывать ряд особенностей (широкий диапазон труднообрабатываемых материалов, различные типы деталей, высокие требования к технологической и эксплуатационной надежности, производительность), которые трудно обнаружить в рекомендациях исследователей, предназначенных и эффективных для узких областей, не характерных для гибкого автоматизированного производства [1].

Существующие методики проектирования и синтеза производственных модулей, как правило, не учитывают стохастические процессы, такие, как потоки отказов, восстановления после отказов, потока заявок на переналадку и переналадки модулей в автоматизированном производстве, что не позволяет объективно оценить эффективность вариантов.

В данной работе уделено особое внимание подходу к оценке гибкости системы с учетом потоков заявок на переналадку и потоков переналадки подсистем и элементов на примере гибких производственных модулей (ГПМ) резьбообработки с помощью теории массового обслуживания. Цель приведенных материалов – формирование у исследователей и проектировщиков комплексных теоретических и практических представлений об оценке гибкости (переналаживаемости) при решении задач разработки и модернизации технологических объектов.

2. Основная часть

С учетом принятых допущений о том, что процесс переналадки модуля является случайным процессом с непрерывным временем, на этапе разработки оптимальной структуры модуля при оценке вариантов

следует применить математический аппарат, основанный на теоретико-вероятностном подходе.

При этом в рассмотрение должны быть введены потоки передачи управляющей информации от устройств высшего уровня к нижестоящим и потоки запросов на обслуживание, поступающие от устройств нижних уровней к вышестоящим.

Поток запросов, поступающих на обслуживание, будем называть входящим, а поток, образующийся на выходе устройств обслуживания верхнего уровня, выходящим.

В соответствии с теорией массового обслуживания можно применительно к технологическим системам резьбонарезных модулей, ввести следующие понятия.

Заявки (требования) – сигналы и запросы на получение определенного вида обслуживания. Обслуживание может состоять в переналадке технологического элемента, ремонте либо замене указанного элемента или всей технологической системы.

Входящий поток – характеризуется интервалами времени между последовательными поступлениями заявок. Входящий поток определяет интенсивность поступления заявок (λ – среднее число заявок, поступающих на обслуживание в единицу времени).

Выходящий поток – последовательность интервалов времени между моментами окончания обслуживания заявок. Выходящий поток определяет интенсивность обслуживания (μ – среднее число обслуженных заявок в единицу времени).

Функция $\lambda(t)$, являющаяся локальной характеристикой переналаживаемости, определяет переналаживаемость элемента в каждый данный момент времени, т.е. вероятность того, что элемент, проработавший без переналадки до момента t , будет переналажен в последующую единицу времени (если конечно эта единица мала).

Таким образом, функция $\lambda(t)$ есть плотность условной вероятности переналадки в момент t , при условии, что до этого момента элемент не переналаживался.

Элементы и технологическая система модуля, в состав которой они входят, подвергаются обычно предварительной тренировке, проходят подготовительные мероприятия и только после этого начинается их эксплуатация. Вышеприведенные соображения показывают, что для технологических элементов ГПМ резьбообработки можно принять:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.} \quad (1)$$

Для постоянной интенсивности переналадки функция вероятности беспереналадочной работы имеет вид:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Такой закон является экспоненциальным [2], а среднее время беспереналадочной работы каждого элемента определяется зависимостью:

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda. \quad (3)$$

Таким образом, для экспоненциального закона интенсивность переналадки обратно пропорциональна среднему времени беспереналадочной работы.

С учетом вышеприведенных рассуждений технологическую систему ГПМ резьбообработки рассмотрим как физическую дискретную систему, которая может находиться в состояниях $S_{00}, S_{10}, S_{20}, S_{30}, S_{40}, S_{11}, S_{21}, S_{31}, S_{41}, S_{22}, S_{32}$.

Состояние S_{00} характеризует нормальное беспереналадочное функционирование модуля при отсутствии заявок на переналадку.

В состоянии S_{10} требуется переналадка режимов обработки вследствие потока заявок на переналадку режимов с интенсивностью λ_1 . В этом случае $\lambda_1 = 1/\bar{T}_p$, где $\bar{T}_p$ – среднее время между двумя переналадками режимов, мин. В состоянии S_{20} требуется одновременная переналадка режимов обработки и переналадка (замена) инструмента на другой типоразмер вследствие потока заявок на переналадку с интенсивностью λ_2 . При этом $\lambda_2 = 1/\bar{T}_i$, где $\bar{T}_i$ – среднее время между двумя переналадками (заменами) инструмента, мин.

Состояние S_{30} характеризуется одновременным наличием потоков заявок на переналадку режимов, инструмента и силовой резьбонарезной головки с интенсивностью λ_3 .

В этом случае $\lambda_3 = 1/\bar{T}_g$, где $\bar{T}_g$ – среднее время между двумя переналадками (заменами) резьбонарезных головок, мин.

В состоянии S_{40} требуется одновременно с переналадкой режимов, инструмента, резьбонарезной головки осуществить переналадку (замену) базовых элементов станка (стол, колонна, станина и т.п.) вследствие потока заявок на переналадку с интенсивностью λ_4 . При этом $\lambda_4 = 1/\bar{T}_c$, где $\bar{T}_c$ – среднее время между двумя переналадками (заменами) базовых деталей станка, мин.

Состояние S_{11} характеризуется одновременной переналадкой режимов обработки и переналадкой (заменой) приспособления вследствие потока заявок на переналадку с интенсивностью λ'_1 . В этом случае $\lambda'_1 = 1/\bar{T}_п$, где $\bar{T}_п$ – среднее время между двумя переналадками (заменами) приспособления (для зажима, базирования, позиционирования), мин.

В состоянии S_{21} требуется переналадка приспособления одновременно с переналадкой режимов и инструмента вследствие одновременных потоков заявок λ'_1 и λ'_2 .

Состояние S_{31} характеризуется переналадкой приспособления одновременно с переналадкой режимов обработки, инструмента и резьбонарезной головки, и наличием потоков заявок λ'_1, λ'_3 .

В состоянии S_{41} требуется переналадка приспособления одновременно с переналадкой режимов обработки, инструмента, резьбонарезной головки и базовых деталей станка вследствие потока заявок интенсивностей λ'_1, λ'_4 .

Состояние S_{22} характеризуется переналадкой загрузочного устройства одновременно с переналадкой режимов обработки, инструмента и приспособления при наличии потоков заявок λ'_2, λ_2 . В этом случае $\lambda'_2 = 1/\bar{T}_з$, где $\bar{T}_з$ – среднее время между двумя переналадками (заменами) загрузочного устройства, мин.

В состоянии S_{32} требуется переналадка режимов обработки, инструмента, резьбонарезной головки, приспособления и загрузочного устройства вследствие потока заявок на переналадку λ'_2 и λ_3 .

Величины $\bar{T}_p, \bar{T}_i, \bar{T}_g, \bar{T}_c, \bar{T}_п, \bar{T}_з$ определяются по общей формуле:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n t_i/n, \quad (4)$$

где n – число заявок на переналадку соответствующего технологического элемента в процессе эксплуатации ГПМ

резьбообработки; t_i – интервал времени между $(i-1)$ -й и i -й заявками.

Каждый технологический элемент ГПМ резьбообработки подвергается переналадке сразу после поступления заявки. По аналогии с интенсивностью потока заявок на переналадку воспользуемся понятием интенсивности потоков обслуживания заявок на переналадку, либо просто интенсивности переналадок μ (соответственно $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu'_1, \mu'_2$), полагая априори, что время переналадки, являясь случайной величиной, тоже подчиняется закону Пуассона. В этом случае $\mu_1=1/\overline{Tор}$, $\mu_2=1/\overline{Tой}$, $\mu_3=1/\overline{Tог}$, $\mu_4=1/\overline{Tос}$, $\mu'_1=1/\overline{Tоп}$, $\mu'_2=1/\overline{Tоз}$, где $\overline{Tор}$ – среднее время переналадки (изменения) режимов обработки, мин; $\overline{Tой}$ – среднее время переналадки (замены) инструмента, мин; $\overline{Tог}$ – среднее время переналадки (замены) резбонарезной головки, мин; $\overline{Tос}$ – среднее время переналадки базовых элементов станка, мин; $\overline{Tоп}$ – среднее время переналадки (замены) приспособления, мин; $\overline{Tоз}$ – среднее время переналадки (замены) загрузочного устройства, мин.

Состояние ГПМ резьбообработки, как системы, в дальнейшем будем рассматривать с помощью марковских процессов, для которых будущее развитие процесса зависит только от настоящего и не зависит от предыстории [3].

Таким образом, технологическую систему ГПМ резьбообработки можно рассматривать как систему, в которой переходы из состояния в состояние происходят под действием простейших потоков с параметрами вероятностей перехода непрерывной марковской цепи.

Для описания размеченного графа состояний технологической системы ГПМ резьбообработки с учетом переналадок (рис. 1) приняты следующие обозначения:

P_{00} – вероятность беспереналадочной работы модуля, $P_{00}=P(S_{00})$;

$P_{10}, P_{20}, P_{30}, P_{40}$ – соответственно вероятности переналадки режимов обработки; режимов и инструмента; режимов, инструмента и резбонарезной головки; всех предыдущих элементов и базовых узлов станка;

$P_{11}, P_{21}, P_{31}, P_{41}$ – соответственно вероятности одновременной переналадки режимов и приспособления; режимов, приспособления и инструмента; режимов, инструмента, резбонарезной головки и приспособления; режимов, инструмента, резбонарезной головки, приспособления и базовых узлов станка;

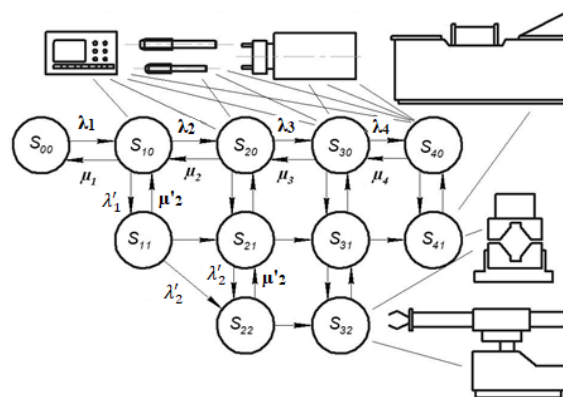


Рис. 1 – Размеченный граф состояний технологической системы ГПМ резьбообработки с учетом переналадок подсистем и элементов

P_{22}, P_{32} – вероятности одновременной переналадки режимов, инструмента, приспособления и загрузочного устройства; режимов, инструмента, резбонарезной головки, приспособления и загрузочного устройства.

Уравнения А.Н. Колмогорова для финальных вероятностей $P_{00}, P_{10}, P_{20}, P_{30}, P_{40}, P_{11}, P_{21}, P_{31}, P_{41}, P_{22}, P_{32}$ состояний $S_{00}, S_{10}, S_{20}, S_{30}, S_{40}, S_{11}, S_{21}, S_{31}, S_{41}, S_{22}, S_{32}$ представляются в виде системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} P_{00}\lambda_1 &= P_{10}\mu_1 \\ P_{10}(\lambda_2 + \lambda'_1 + \mu_1) &= P_{00}\lambda_1 + P_{20}\mu_1 + P_{11}\mu'_1 \\ P_{20}(\lambda_3 + \lambda'_1 + \mu_2) &= P_{10}\lambda_2 + P_{20}\mu_3 + P_{31}\mu'_1 \\ P_{30}(\lambda_4 + \lambda'_1 + \mu_3) &= P_{20}\lambda_3 + P_{40}\mu_4 + P_{31}\mu'_1 \\ P_{11}(\lambda'_1 + \mu_4) &= P_{10}\lambda'_1 \\ P_{21}(\lambda_3 + \lambda'_2 + \mu'_1) &= P_{11}\lambda_2 + P_{20}\lambda'_1 + P_{22}\mu'_2 \\ P_{31}(\lambda_4 + \lambda'_2 + \mu'_1) &= P_{21}\lambda_3 + P_{30}\lambda'_1 + P_{32}\mu'_2 \\ P_{41}\mu'_1 &= P_{21}\lambda_3 + P_{40}\lambda'_1 + (P_{31} + P_{32})\lambda_4 \\ P_{22}(\lambda'_3 + \mu'_2) &= P_{11}\lambda_2 + P_{21}\lambda'_2 \\ P_{32}(\lambda'_4 + \mu'_2) &= P_{22}\lambda_3 + P_{31}\lambda'_2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Решение полученной системы уравнений с помощью условия нормировки $P_{00} + P_{10} + P_{20} + P_{30} + P_{40} + P_{11} + P_{21} + P_{31} + P_{41} + P_{22} + P_{32} = 1$ позволяет для заданных (или полученных экспериментально) интенсивностей поступления и обслуживания заявок на переналадку для ГПМ резьбообработки получить значения вероятности беспереналадочной работы (P_{00}), а также вероятностей нахождения системы в нерабочем состоянии по причине соответствующих переналадок ($P_{10}, P_{20}, P_{30}, P_{40}, P_{11}, P_{21}, P_{31}, P_{41}, P_{22}, P_{32}$) элементов и подсистем модуля.

3. Заключение

При синтезе технологических элементов ГПМ резьбообработки целесообразно использовать методы структурной и параметрической оптимизации, основными этапами которой являются формирование множества структур ГПМ, оценка вариантов структур по укрупненным показателям, оценка вариантов с учетом стохастических процессов, выявление уязвимых мест в технологической системе, разработка и совершенствование уязвимых с точки зрения эффективности переналадки элементов, оценка эффективности системы с учетом её изменений, реализация системы [4, 5]. Разработанная математическая модель, описывающая состояния ГПМ с учетом переналадок его технологических элементов, позволяет отразить влияние на

работу модуля параметров заявок на переналадку режимов обработки, инструмента, силовой резьбонарезной головки, базовых элементов станка, приспособления, загрузочного устройства. Структура модели и граф состояний системы могут совершенствоваться по мере уточнения числа параметров и характеристик. Для полной информации и объективной оценки предпочтительного для использования в условиях ГПС варианта необходим учет стохастических процессов, происходящих в системе в реальных условиях функционирования [6, 7]. Проведенные мероприятия позволяют решить задачу синтеза ГПМ резьбообработки на уровне структурно-компоновочной оптимизации.

Список литературы

1. Харченко А.О. Структурно-компоновочный синтез подсистем модулей для внутренней резьбообработки / А.О. Харченко, А.А. Харченко // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. – Орел: ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», 2020. № 4-2 (342). – С.85-94. DOI: 10.33979/2073-7408-2020-342-4-2-85-94.
2. Долгин В.П. Надежность технических систем: Учеб. пособие / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – М: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 167 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций / Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1988. – 208 с.
4. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell / Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. // *Soviet engineering research*, 1987. – 7(2), P. 48-52.
5. Мерзлов А.В. Разработка критерия эффективности при оптимизации структур станочных модулей / А.В. Мерзлов, А.О. Харченко, А.А. Харченко // *Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (20 - 23 мая 2019 г.)*, Севастополь: ФГАОУ ВО «СевГУ», 2019. – С. 97-100.
6. Нахапетян Е.Г. Диагностирование оборудования гибкого автоматизированного производства / Е.Г. Нахапетян. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
7. Харченко А.О. Анализ и синтез структур современных многооперационных станков: практикум / А.О. Харченко, С.М. Братан, Е.А. Владецкая, С.И. Рошупкин. – М.: Центркаталог, 2018. – 144 с.

References

1. Kharchenko A.O. Structural-layout synthesis of subsystems of modules for internal thread processing / A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology]. - Oryol: FSBEI VO "OSU named after I.S. Turgenev ", 2020. No. 4-2 (342). – pp. 85-94. DOI: 10.33979 / 2073-7408-2020-342-4-2-85-94.
2. Dolgin V.P. *Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem* [Reliability of technical systems]: Textbook. / V.P. Dolgin, A.O. Kharchenko. – M: University textbook: INFRA-M, 2017. – 167 p.
3. Wentzel E.S. *Issledovaniye operatsiy* [Operations Research] / E.S. Wentzel. – M.: Nauka, 1988. – 208 p.
4. Novoselov, Yu.K., Kharchenko A.O. Choice of the Optimal Structure of a Flexible Production Cell. *Soviet engineering research*, 1987. – 7(2), pp. 48-52.
5. A. V. Merzlov Development of an efficiency criterion for optimizing the structures of machine modules / A.V. Merzlov, A.O. Kharchenko, A.A. Kharchenko // *Sovremennyye tekhnologii: problemy i perspektivy: sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern technologies: problems and prospects: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference] (May 20-23, 2019), Sevastopol: FGAOU VO "SevGU", 2019. – pp. 97-100.
6. Nakhapetyan E.G. *Diagnostirovaniye oborudovaniya gibkogo avtomatizirovannogo proizvodstva* [Diagnostics of equipment of flexible automated production] / E.G. Nahapetyan. – Moscow: Nauka, 1985. – 224 p.
7. Kharchenko A.O. *Analiz i sintez struktur sovremennykh mnogooperatsionnykh stankov: praktikum* [Analysis and synthesis of structures of modern multi-operational machines: workshop] / A.O. Kharchenko, S.M. Bratan, E.A. Vladetskaya, S.I. Roshchupkin. – M.: Tsentrkatalog, 2018. – 144 p.

РАЗДЕЛ 2. СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА И ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

УДК 656.611

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ КАК НАЦИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЛИНИИ

Н.А. Дьяченко¹ студент, Ю.О. Стреляная² канд. техн. наук

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: nickitadyachenko2@gmail.com

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

Аннотация

В статье приведен обзор важности и стратегического развития Северного морского пути как национальной морской транспортной магистрали Российской Федерации в Арктике. Отмечены особенности исторического освоения и влияния на развитие Северного морского пути. Это водная артерия, позволяющая осуществлять международную торговлю, обеспечивать безопасность государства и всецело осваивать арктический регион. Северная магистраль - это кратчайший морской путь между Европой и Тихим океаном. Кроме того, он проходит по территории, которая является стратегической ресурсной базой нашей страны, обеспечивающей решение важнейших задач социально-экономического развития.

Специфика транспорта и оборудования в условиях сурового климата и природных особенностей выдвигают новые требования в развитии науки и техники.

Северный морской путь даёт возможность транспортировать грузы в районы крайнего севера России, он важен для освоения северных территорий Сибири, Дальнего Востока, где нет сухопутных дорог. Ускоренное освоение Арктической зоны России выступают в качестве приоритетов экономического развития и национальной безопасности страны. Ключевым условием достижения поставленных целей является расширение ледокольного, грузового и вспомогательного флота.

Ключевые слова: Северный морской путь, ледокол, Арктика, Лидер, морской транспорт, эксплуатация, арктическая зона, международная транзитная магистраль.

OPERATION OF THE NORTHERN SEA ROUTE AS A NATIONAL TRANSPORT LINE

N. A. Dyachenko¹ student, Yu. O. Strelyanaya² cand. sc. tech

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: nickitadyachenko2@gmail.com

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

Abstract

The article provides an overview of the importance and strategic development of the Northern Sea Route as the national maritime transport route of the Russian Federation in the Arctic. The features of the historical development and influence on the development of the Northern Sea Route are noted. It is a waterway that allows for international trade, ensures the security of the state and fully develops the Arctic region. The Northern Highway is the shortest sea route between Europe and the Pacific Ocean. In addition, it passes through the territory that is the strategic resource base of our country, which provides solutions to the most important tasks of socio-economic development.

The specifics of transport and equipment in a harsh climate and natural features make new demands in the development of science and technology.

The Northern Sea Route makes it possible to transport cargo to the regions of the far north of Russia, it is important for the development of the northern territories of Siberia and the Far East, where there are no land roads. The accelerated development of the Russian Arctic zone is a priority for the country's economic development and national security. The key condition for achieving these goals is the expansion of the icebreaker, cargo and auxiliary fleet.

Keywords: Northern Sea Route, icebreaker, Arctic, Leader, sea transport, operation, Arctic zone, international transit highway.

История Северного Морского пути (СМП) уходит вглубь веков и неразрывно связана с исследованиями мореходов арктического региона. Большой вклад в исследования СМП внесли Витус Беринг, Х. Лаптев, С.И. Челюскин, В. Я. Чичагов, А.В. Колчак, М.В. Ломоносов, Д. И. Менделеев, Б. Вилькицкий, благодаря их открытиям современники могут решить многие стратегические задачи для нашей страны [1,2].

Особенности сурового климата и природных условий тормозило темпы освоения и развития СМП.

В пределах Северного пути среднемесячные летние температуры не поднимаются выше +7 градусов, а зимние достигают отметок -33 – -35 градусов. Для Северных морей характерна шельфовая зона, глубина которой не превышает 200м. Природной особенностью СМП является наличие льда на всем пути следования судов. При этом ледовая обстановка на большинстве участков трасс крайне нестабильна, отличается межгодовой изменчивостью.

В 1914–1915 года Ледоколы «Вайгач» и «Таймыр» ознаменовали совершенно новый период арктических экспедиций. Эти ледоколы были спроектированы со специальными ледокольными обводами, нос судна имел форпик специальной формы, что позволяло судну «наползать» на лёд и ломать его своим весом, а борта имели «яйцевидную» форму с усиленным набором и утолщенной обшивкой, это не давало льдам «раздавить» ледокол, в случае, если он в них вмерзнет [3].

В годы Второй мировой войны Северный морской путь являлся важнейшей стратегической магистралью. По нему осуществлялась проводка боевых кораблей Тихоокеанского флота в Баренцево море для защиты конвоев «ленд-лиза». Через арктические порты флот снабжался углём, военная промышленность – никелем, медью, лесом. В годы войны по внутренним морским путям корабли флота провели 1548 конвоев.

Для освоения СМП имели значение и множество других более поздних экспедиций: гидрографические экспедиции по изучению обстановки трассы и для составления навигационных карт [2].

За время существования СССР исследования Арктики велись очень активно за счёт сети полярных станций на островах и на побережье, включая дрейфующие станции. Это было связано с достижениями науки и техники.

Так в 1959 году на ходовые испытания вышло первое в мире надводное судно с ядерной силовой установкой – «Ленин». Мощность силовой установки составляла 32,4 МВт (44000 л.с.). Опыт эксплуатации ледокола, позволил спроектировать атомный ледокол для проводки судов в устьях рек «Таймыр», атомные ледоколы типа 10520. К ледоколам проекта относится 6 судов, 2 из которых до сих пор после модернизации находятся в эксплуатации, несмотря на свой возраст («50 лет Победы», «Ямал»). Ледоколы были спроектированы и построены по правилам Регистра судоходства (РС), который с годами дополнялся. На данный момент РС во всём мире ассоциируется с судами ледового плавания [4].

Отдельно стоит упомянуть единственное в России атомное ледокольное грузовое судно, «Севморпуть». «Севморпуть» является крупнейшим из четырёх в мире когда-либо построенных невоенных торговых судов с ядерной энергетической установкой. Крупнейший по водоизмещению из лихтеровозов. Судно предназначено для транспортировки грузов в лихтерах и контейнерах в отдалённые северные районы, где слабо развита инфраструктура морских портов. Судно способно самостоятельно производить загрузку и разгрузку лихтеров, не заходя в порт. По состоянию на 2020 год является единственным действующим грузовым судном с атомной силовой установкой.

После распада Советского Союза, российский Север был заброшен, закрылось большинство полярных станций, а самый большой в мире ледокольный флот начал устаревать и уменьшаться. Однако с 2016 г. объём перевезённых грузов по СМП начал стремительно набирать обороты. Это оживление связано с развитием добычи на Севере природных ресурсов (нефти и газа), строительством новейших ледоколов и плавучих ледовых станций, облегчивших использование северных маршрутов. Основными пользователями СМП в РФ сегодня являются «Норникель», «Газпром», «Лукойл», «Роснефть», «Росшельф» [5].

26 октября 2020 года президентом Российской Федерации был подписан указ "О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года". В документе отмечалось, что если в 2018 г. в российской Арктике было добыто 82,7% от общероссийской добычи газа (или

606 млрд куб. м), то к 2035 г. этот показатель должен вырасти до 92% (или 782–850 млрд куб. м исходя из прогноза в Энергостратегии России). Реализовать такой рост грузооборота позволит строительство ледоколов проектов 22220 и 10510 «Лидер», способных осуществлять проводку гражданских судов при толщине льда более трёх метров, а так же строительство новейших танкеров типа «Афрамекс», оснащенных самой продвинутой системой автоматизации и силовыми установками с высоким уровнем экологичности, что особенно важно для работы в арктическом регионе.

Так совсем недавно головной ледокол проекта 22220 «Арктика» вошёл в состав российского атомного флота, успешно завершив ходовые испытания, а со стапеля Судостроительного комплекса «Звезда» спущен на воду первый (из 12) российский танкер типа «Афрамекс» «Владимир Мономах» [6].

Стоит отметить, что необходимость в строительстве самых прогрессивных ледоколов в мире затрагивает не только судостроительную отрасль, так ОКБМ имени И. И. Африкантова разработали новейший водо-водяной ядерный реактор РИТМ-200, который значительно производительней реакторов типа «КТЛ», при этом имея более малые габариты, что очень важно для судна.

Так же очень важны заслуги НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ конструкционных материалов «Прометей». Специалисты НИЦ создали уникальную сталь для корпусов ледоколов. Данный сплав сочетает очень важные свойства — высокую прочность, пластичность, стойкость к коррозии, сопротивляемость динамическим воздействиям ледовых полей и ветро-волновым нагрузкам. При этом она способна работать при температурах до – 60°C. Впервые в мире разработаны технологии, обеспечивающие создание однородной по всей толщине проката дисперсной структуры (образование из двух или большего числа тел, которые практически не смешиваются и не реагируют друг с другом химически. - «Известия»). Свершилось это благодаря появлению на ПАО «Северсталь» и Магнитогорском металлургическом комбинате (ММК) мощнейших прокатных станов, на которых можно производить термомеханическую обработку листов толщиной от 40 до 150 мм. Сбылась мечта материаловедов: совместить две несовместимые характеристики - высокую

пластичность и прочность - и регулировать их в зависимости от условий эксплуатации.

Но наличие прочных сплавов, специализированных обводов и мощнейших в мире энергетических установок не делают судно более манёвренными. Для повышения манёвренности ледоколы начинают оснащаться винто-рулевая колонка, аzipодами. Раньше такой системой могли похвастаться суда малого водоизмещения. Но с недавнего времени Центр судоремонта «Звездочка» в рамках реализации программы импортозамещения (входит в Объединенную судостроительную корпорацию) спроектировало и изготовило подруливающее устройство ПУ130/5. Подруливающие устройства активно начали устанавливаться на буксиры, спасательные суда и дизель-электрические ледоколы, возможно, когда-нибудь мы сможем их увидеть и на атомных ледоколах.

Развитие СМП очень важно для нашей страны, ведь решает многие задачи. Из которых можно выделить три основные:

- снабжение местного населения районов необходимыми ресурсами для жизни;
- освоение богатств природы северных территорий;
- обеспечение национальной безопасности и территориальной целостности нашей страны, ведь природные богатства Арктики интересны не только России.

Так за последние годы военно-строительный комплекс Минобороны России возвел в Арктике 590 объектов общей площадью более 720 тысяч квадратных метров. Первоочередные объекты 3-й дивизии ПВО в Тикси, например, занимают 4600 квадратных метров. Аэродром Нагурское на архипелаге Земля Франца-Иосифа сможет принимать самолеты всех классов, даже стратегические бомбардировщики Ту-160. Возможно, на этой авиабазе появятся истребители пятого поколения Су-57 и бомбардировщики Су-34.

Таким образом, СМП является национальной транспортной линией, он объединяет в эту линию крупные реки Сибири, является важнейшей частью инфраструктуры Крайнего Севера, связывает западные районы страны с Дальним Востоком. Сегодня СМП - это путь к природным запасам российского Севера, Сибири и Дальнего Востока, которые по некоторым оценкам уже в 21 веке станут едва ли не основой ресурсно-сырьевой базой России.

Стоит отметить значительное преимущество СМП перед другими морскими маршрутами (Суэцкий и Панамский каналы) – меньшее расстояние. Используя его, возможно сократить дистанцию в пути примерно на 34%. Еще одним преимуществом является безопасность, в сравнении с Суэцом и его сомалийскими пиратами.

Заключение. Бесспорно, развитие Северной морской магистрали является стратегически важной и перспективной задачей для нашей страны.

СМП даёт возможность транспортировать грузы в районы севера России, он важен для освоения северных территорий Сибири, Дальнего Востока, где нет сухопутных дорог. СМП - это новый мировой путь перевозки

грузов из Европы в Азию и наоборот. Связь с зарубежными странами Азии - транспортировка транзитом их грузов. Значение Северной морской магистрали, как уникальной транспортной артерии, определяется потребностями функционирования многих хозяйственных комплексов, промышленного освоения районов побережья. Это самый главный фактор стабилизации и обеспечения национальной экономической безопасности страны. Этот внутренний Морской путь нашей страны играет огромную роль в экономической жизни многих регионов, которые связаны с Северным Ледовитым океаном большими реками.

Список литературы

1. Шопотов К.А. Великие географические открытия в Ледовитом и Тихом океанах. г. Санкт-Петербург: изд-во ГеоГраф, 2018 г.
2. Булатов В.Н. Из Ледовитого океана в Тихий: М.В. Ломоносов и исследование Арктики. Слово о Ломоносове: сб. - Архангельск 1986 г.
3. МАРПОЛ 73/78. Международная конвенция по предотвращению загрязнения судов.
4. М. Назаров. Северный морской путь. История освоения. Международный правовой статус. изд-во Русская Идея 2020 г.
5. Правила классификации и постройки морских судов, часть I «Классификация». Российский морской регистр судоходства г. Санкт-Петербург: РМРС, 2020 г.
6. Правила классификации и постройки морских судов, часть II «Корпус». Российский морской регистр судоходства г. Санкт-Петербург: РМРС, 2020 г.

References

1. Shopotov K. A. Great geographical discoveries in the Arctic and Pacific oceans. St. Petersburg: GeoGraf Publishing House, 2018
2. Bulatov V. N. From the Arctic Ocean to the Pacific: M. V. Lomonosov and Arctic Research. The Word about Lomonosov: a collection - Arkhangelsk, 1986
3. MARPOL 73/78. International Convention for the Prevention of Pollution of Ships.
4. M. Nazarov. The Northern Sea Route. The history of development. International legal status. Russian Idea Publishing House 2020
5. Rules for the classification and construction of marine vessels, part I "Classification". Russian Maritime Register of Shipping City of Saint Petersburg: RMRS, 2020
6. Rules for the classification and construction of sea vessels, part II "Hull". Russian Maritime Register of Shipping City of Saint Petersburg: RMRS, 2020

УДК 629.083

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГАЗОБАЛЛОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

М. А. Тараховский¹, Д. С. Кричевец², А. Г. Остренко³

¹ГБОУ ПО «Севастопольский колледж информационных технологий и промышленности», ул. Вакуленчука, 29, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: atarahovsky@yandex.ru

²ГБОУ ПО «Севастопольский колледж информационных технологий и промышленности», ул. Вакуленчука, 29, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053

³ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: AGOstrenko@sevsu.ru

Аннотация

В современном автомобильном мире существует множество стереотипов о том, что газобаллонное оборудование сильно снижает мощность автомобиля, и что его установка нецелесообразна. Основной причиной использования газобаллонного оборудования на автомобилях, становится стремление к экономии с учетом постоянно растущих цен на топливо. Газобаллонное оборудование – это комплект оборудования, с которым автомобиль сможет работать не только на бензине или дизельном топливе, а также на различных видах газа. На данный момент активно используют такие газы как метан и пропан-бутан. Система питания автомобиля, работающего на газе служит для хранения запаса топлива, очистки газа и воздуха, приготовление рабочей смеси, подачи её в цилиндры и выпуска отработавших газов. Как и любое другое переоборудование транспортного средства, установка газобаллонного оборудования имеет очевидные преимущества наравне с определенными недостатками в результате подобного решения. В данной статье описываются преимущества и недостатки установки газобаллонного оборудования в современных условиях. Представлены газобаллонные оборудования разных поколений. Рассмотрены преимущества и недостатки газобаллонного оборудования. Приведён анализ использования газобаллонного оборудования на автомобилях.

Ключевые слова: газобаллонное оборудование, экологичность, целесообразность, экономия, мощность двигателя, газовое топливо, альтернативные топлива, пропан- бутановые смеси, нефтяной сжиженный газ, авто- газ, природный газ, газомоторное топливо.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE GAS CYLINDER EQUIPMENT OF THE CAR

M. A. Tarakhovsky¹, D. S. Krichevets², A. G. Ostrenko³

¹ GBOU PO "Sevastopol College of Information Technologies and Industry", 29 Vakulenchuk str., Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: atarahovsky@yandex.ru

² GBOU PO "Sevastopol College of Information Technologies and Industry", 29 Vakulenchuk str., Sevastopol, Russian Federation, 299053,

³ FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: AGOstrenko@sevsu.ru

Abstract

In the modern automotive world, there are many stereotypes that gas cylinder equipment greatly reduces the power of the car, and that its installation is impractical. The main reason for using gas cylinder equipment on cars is the desire to save money, taking into account the constantly rising fuel prices. Gas cylinder equipment is a set of equipment with which the car can work not only on gasoline or diesel fuel, but also on various types of gas. At the moment, such gases as methane and propane-butane are actively used. The power system of a gas-powered vehicle is used for storing fuel, cleaning gas and air, preparing the working mixture, feeding it to the cylinders and releasing the exhaust gases. Like any other vehicle conversion, the installation of gas cylinder equipment has obvious advantages along with certain disadvantages as a result of such a solution. This article describes the advantages and disadvantages of installing gas cylinder equipment in modern conditions. Gas cylinder equipment of different generations is presented. The advantages and disadvantages of gas cylinder equipment are considered. The analysis of the use of gas cylinder equipment on cars is given.

Keywords: gas cylinder equipment, environmental friendliness, expediency, economy, engine power, gas fuel, alternative fuels, propane-butane mixtures, petroleum liquefied gas, auto gas, natural gas, gas engine fuel.

1. Введение

В настоящее время автомобили очень распространены, их используют не только как личное транспортное средство, а также средством для перевозки грузов, от небольших до крупногабаритных более 1 тонны, или перевозки людей по всему миру. Каждый день, в мире создаётся большое количество колёсной техники различного назначения, а производители то и дело внедряют новые технологии в транспорт, превращая простую машину, в умный гаджет, который умеет думать и действовать самостоятельно в той или иной ситуации [1, 2]. А если мир не стоит на месте, то и мы не стоим на месте. Сейчас автомобили впитывают все нововведения и необходимые функции для нашего комфорта при езде на дальние расстояния [3, 4]. Внедорожники, грузовики, спортивные, седаны, лифтбеки, пикапы – каким бы не был автомобиль, он помогает нам, и без него не обойтись никак, он помогает нам и без него нам не обойтись.

2. Назначение газобаллонного оборудования

2.1. Описание газобаллонного оборудования автомобиля и его назначение

Газобаллонное оборудование (ГБО) – это комплект оборудования, с которым автомобиль сможет работать не только на бензине или дизельном топливе, а также на различных видах газа [4, 5]. На данный момент активно используют такие газы как метан и пропан-бутан. Система питания автомобиля, работающего на газе служит для хранения запаса топлива, очистки газа и воздуха, приготовление рабочей смеси, подачи её в цилиндры и выпуска отработавших газов. Принцип работы любого ГБО заключается в отсечении двигателя от жидкого топлива на газ без особых изменений в работе и сохранении динамики. Газовое оборудование бывает двух видов – инжекторное (Ставится на инжекторные двигатели где газ подаётся под давлением) и энкекторное (ставится на карбюраторные двигатели, где газо-воздушная смесь засасывается карбюратором). Причина использования газобаллонного оборудования, заключается в том, что, газ стоит дешевле бензина и дизельного топлива, также газовый баллон на много прочнее бака для топлива и при правильной установке и эксплуатации он является более безопасным [6 - 8]. Самое главное для безопасности при эксплуатации

ГБО это отсутствие запаха газа. Частой причиной проблем с ГБО становится не соблюдения простого правила: запуск на бензине, а после прогрева двигателя до рабочей температуры переход на газ. В противном случае, несколько «холодных» пусков зимой могут привести из строя газовый редуктор. Случаются к сожалению, и другие проблемы, но все они, как правило, не связаны с самим ГБО а с неисправностью некоторых узлов автомобиля.

2.2. Классификация газобаллонного оборудования

Газобаллонное оборудование классифицируется на шесть поколений в нынешнее время [9 - 12].

2.2.1 I-Поколение. Наиболее старое, здесь газ подается за счет разряжения в коллекторе. Подобные системы монтируются на карбюраторные ДВС, где за управление подачей газа отвечает вакуумный редуктор. Принцип работы в том, что при запуске двигателя в коллекторе создается разряжение, после чего в движение приходит мембрана на вакуумном редукторе и газ направляется к коллектору, через карбюратор.



Рис. 1. ГБО 1-поколения на ВАЗ 2106

Чуть позже появились электромагнитные клапаны, за счет чего редуктор начинал «гнать» газ раньше, не дожидаясь сигналов с самого коллектора. Сигналы изначально приходили с зажигания.

Плюсы:

- простое, недорогое решение;
- может применяться и на простых инжекторных двигателях без обратной связи;

Минусы:

- не соответствует современным нормам безопасности.

2.2.2 II-поколение. Ознаменовалось появлением инжекторов. Впервые был разработан и применен газовый смеситель,

который размещается перед впускным коллектором. Применяются электронные дозаторы и редукторы.

Плюсы:

- дополнительное оснащение дозаторами газа;
- гарантирует поддержание экологических требований Евро 1.

Минусы:

- большая вероятность «хлопков»;
- сокращается срок эксплуатации свечей зажигания и воздушного фильтра;
- токсичность отработавших газов автомобилей.

2.2.3 III-поколение. В газобаллонном оборудовании III-поколения впрыск производится уже с помощью механических форсунок. Количество смеси формируется за счет показания датчиков, перечисленных выше, однако в этой версии к ним добавился датчик давления газа. Так же было предусмотрено индивидуальную подачу газовой смеси в цилиндр, за счет дозирующих газовых инжекторов.

Плюсы:

- работа осуществляется от подачи сигналов с датчиков мотора (Лямбда-зонд, RPM, TPS, MAP);
- особая система подачи газа - с помощью параллельного впрыска;
- газовый мотор и ЭБУ (электронный блок управления).

Минусы:

- небольшая скорость реакции на изменение режима езды;
- невысокая скорость реакции на корректировку смеси;
- не соответствие экологическим требованиям Евро-3.

2.2.4 IV-поколение. IV-поколение более совершенно, подача производится последовательно, параллельно, за счет установки электромагнитных форсунок. Их работа регулируется ЭБУ. Кроме того, при формировании «порции» газа учитываются показания давления газа, температуры топлива и редуктора, уровня разряжения в коллекторе. Таким образом, управление происходит за счет полученных данных со штатного ЭБУ. При этом блокируется подача бензина путем обрыва сигнала газовым ЭБУ на бензиновые форсунки.

Не стоит также забывать и о поколении 4+, где управление и работа, как газовых, так и бензиновых форсунок одновременна. В таких случаях, подача на бензиновые форсунки не

прекращается, а только сокращается. Как правило, пропорция составляет 20/80%, где 80% соответственно газ.



Рис. 2. ГБО IV-поколения

Плюсы:

- функция автоматического перехода с бензина на газ, и наоборот (когда газ в баллоне закончился);
- совместима с экологическими требованиями Евро 3, а также с системами бортовой диагностики OBDII, EOBD;
- является точной копией бензинового инжектора;
- исключена вероятность «хлопков»;
- ошибки при монтаже практически не возможны, так как все соединительные детали унифицированы.

2.2.5 V-поколение. Его особенность заключается в том, что горючка подается в жидком виде. Специально установлен газовый насос, нагнетающий и циркулирующий топливо по трубопроводу к форсункам под давлением. Отпала необходимость в охлаждении, а соответственно в редукторе-испарителе, так как были созданы специальные форсунки, позволяющие подавать жидкий газ в коллектор. То есть теперь, возможно запускать ДВС в любую погоду, непосредственно с газа.

Плюсы:

- газ поступает в цилиндры в жидкой фазе;
- отдельные электромагнитные форсунки впрыска газа в каждый цилиндр;
- отсутствие потери мощности и отсутствие повышенного расхода газа;
- возможность запуска двигателя на газе при любых отрицательных температурах.

Минусы:

- высокая чувствительность к грязному газу
- низкая ремонтпригодность

2.2.6 VI-поколение. Последняя ныне версия подойдет не для каждого ДВС, а только для тех, где инжектор оснащается насосом высокого давления (ТНВД), то есть это ДВС с непосредственным впрыском.



Рис. 3. ГБО VI-поколения

Принцип работы частично отличается, так как добавлено еще звено в роли блока клапанов. Сначала насос «гонит» топливо из баллона в блок клапанов, естественно минуя все необходимые системы очистки. Далее через ТНВД горючка подается на форсунки и оттуда уже в коллектор. За счет того, что в блок приходит две магистрали (бензин и газ), использования бензина не обязательное.

Минусы ГБО VI-поколения является его дороговизна, а также переключение между видами топлива происходит не мгновенно, поскольку на участке «блок-топливная форсунка» применена одна магистраль.

Разница между поколениями ГБО заключается лишь в элементах подачи газа и в системе управления.

2.3. Работа и взаимодействие деталей и узлов ГБО автомобиля

Принцип работы ГБО заключается в следующем: из бака под давлением газ «транспортируется» по топливным каналам. Распределение и проход газа производится через мультиклапан, через него так же производится и заправка ёмкости с газом. Далее газ, в жидкой форме двигаясь по «трубопроводу», попадает в газовый клапан-фильтр, где очищается от примесей и прочих смолистых отложений. Пройдя через фильтр, газ направляется в редуктор испаритель, откуда уже под меньшим давлением направляется дальше. Во время испарения, газ охлаждает редуктор. Для того что бы редуктор не перемерзал и не перегревался, он соединяется с системой охлаждения ДВС.

После понижения давления, топливо из редуктора по магистрали низкого давления направляется к дозатору и смесителю. Данный принцип работы характерен для ГБО первого и второго поколения. Работы ГБО на более ранних поколениях несколько отличается. Из баллона газ движется к редуктору, далее к фильтру грубой очистки.

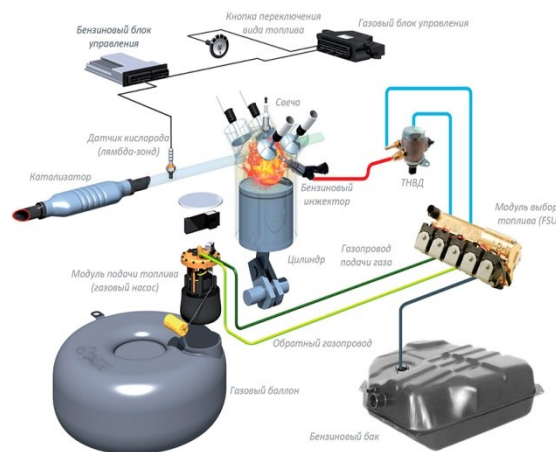


Рис. 4. Строение ГБО

Затем редуктор нагревает и понижает давление газа. Далее топливо проходит через второй фильтр и попадает на рампу форсунок. Какую именно порцию газа подать на форсунки, определяет ЭБУ согласно полученных данных с датчиков. Для принятия «решений», принимаются к сведению показания: датчика положения коленчатого вала, датчика положения дроссельной заслонки и датчика кислорода (лямбда-зонд). Газовый блок управления направляет импульсы, по которым форсунки открываются в определённой последовательности или по времени. Таким образом, фазируя впрыск и порции газа. Затем из форсунок газ попадает к впускному коллектору. Управление режимами работы (газ или бензин) осуществляется с помощью переключателя видов топлива, установленного на панели приборов. При выборе позиции «газ» переключатель открывает электромагнитный газовый клапан и отключает электромагнитный бензиновый клапан. И, наоборот, при переходе с газа на бензин, переключатель закрывает газовый клапан и открывает бензиновый [13-16].

3. Заключение

Автомобили являются основными потребителями жидкого топлива, при сгорании которых выделяются вредные вещества для человека и природы. Постоянный рост количества автомобилей, неуклонно направляют сырьё мировое к нулевой отметке, не только твёрдых руд, но и нефти для производства бензина, дизельного топлива, керосина и др. Для того чтоб расширить базу топлив для авто, и уменьшить количество отходов в воздухе, можно за счёт использования нетрадиционных видов топлива. Наибольшее распространение, получили авто с установленными на них газовыми установками, которые относят к чистым в экологическом отношении моторным

топливам. А также стоимость газового топлива в два три раза дешевле стоимости бензина и дизельного топлива, а запасы превосходят

нефтяные. Эти факторы обусловили применение газа в автомобилях.

Список литературы

1. Саса Д.А. Особенности изготовления рамных изделий для специализированного подвижного состава путем создания компьютерного моделирования состояний объекта изделий / Д.А. Саса, А.Ю. Тараховский // В сборнике: Современные технологии: проблемы и перспективы. сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных. Севастополь, 2020. С. 210-213.
2. Пеньшин Н.В. Общий курс транспорта: учебное пособие / Н.В. Пеньшин. - Изд - во: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. - 132 с.
3. Саса Д.А. Последовательность изготовления рамы одноосного прицепа цистерны / Д.А. Саса, А.Ю. Тараховский // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2019. – №5. – С. 19-22.
4. Григорьев Е.Г. Газобаллонные автомобили / Е.Г. Григорьев, Б.Д. Колубаев, В.И. Ерохов, А.А. Зубарев – М.: Машиностроение, 1989. – 216 с.
5. Газовое оборудование автомобилей : легковые, грузовые : устройство, установка, обслуживание : практическое руководство / [С. Афонин]. - [2-е изд., испр. и доп.]. - Батайск : СвечокЪ, 2008. - 44 с. : ил.; 29 см. - (Серия Сам себе автомеханик).; ISBN 978-5-98842-078-1.
6. Лысенко Е.А. Сравнительный анализ переоборудования Лада Лагрус на сжатый или сжиженный газ / Е.А. Лысенко, И.С. Нестеренко, В.С. Буграков, А.А. Малуш, О.А. Самородская // В сборнике: ADVANCED SCIENCE. сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. В 2 ч.. Ответственный редактор: Гуляев Герман Юрьевич. 2019. С. 123-125.
7. Кривчук М.А. Целесообразность использования ГБО в современных условиях // Modern Science. 2020. № 6-2. С. 276-277.
8. Голиков Р.О. О целесообразности применения газомоторных автомобилей / Р.О. Голиков, Н.Т. Лозовский // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2014. № 4 (106). С. 243-248.
9. Казанцев А.А. Анализ видов газобаллонного оборудования // В сборнике: Материалы 65-й студенческой научно-практической конференции инженерного факультета ФГБОУ ВО Самарский ГАУ. Сборник науч-ных трудов. 2020. С. 284-290.
10. Вознесенский М.А., Солодовников Д.Н. Анализ газобаллонного оборудования для бензиновых двигателей транспортных средств // В сборнике: ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА. сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции: в 3 частях. 2018. С. 32-35.
11. Павлов Н.Г., Иванов О.А., Васильева В.В. Преимущества и недостатки автомобильного газобаллонного оборудования // В сборнике: МОЛОДЫЕ УЧЁНЫЕ РОССИИ. сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, 2020. С. 38-40.
12. Буралев Ю.В. и др. Устройство, обслуживание и ремонт топливной аппаратуры автомобилей. - М.: Высшая школа, 1982 г.
13. Автослесарь. Устройство, техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебное пособие / Под ред. А.С. Трофименко. Ростов н/Д: Феникс, 2001.
14. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту автомобилей ВАЗ 2106. Сост. В.А. Яметов, А.П. Игнатов. - М.: Издательство «РусьАвтокнига», 2003.
15. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: Учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования / В.М. Власов, С.В. Жанказиев. - М.: Издательский центр «Академия», 2003.
16. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава авто мобильного транспорта -М: Транспорт, 1988. - 78с.

References

1. Sasa D. A. Features of manufacturing frame products for specialized rolling stock by creating a computer simulation of the states of the object of products / D. A. Sasa, A. Yu. Tarakhovsky // In the collection: Modern technologies: problems and prospects. collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Postgraduates, Students and Young Scientists. Sevastopol, 2020. pp. 210-213.
2. Pensin N. V. General course of transport: textbook / N. V. Pensin. - Publishing house: FGBOU VPO "TSTU", 2012. - 132 p.
3. Sasa D. A. the Sequence of manufacturing frame single axle trailers tank / D. Szasz, A. Ya Tara Chowski // Transport, mining and construction engineering: science and production. – 2019. – No. 5. – P. 19-22.
4. Grigoriev E. G. Gas cars / E. G. Grigoriev, D. B. Kolupaev, V. I. erokhov, A. A. Zubarev, M.: Mashinostroenie, 1989. – 216 p.
5. Gas equipment of cars and trucks: device, installation, maintenance : practical guide / [P. Aфонin]. - [2nd ed., ispr. and add.]. - Bataysk : Sverchok Kommersant, 2008,. - 44 p.: Ill.; 29 cm. - (Self-mechanic series).; ISBN number 978-5-98842-078-1.

6. Lysenko E. A., Nesterenko I. S., Bugrakov V. S., Malush A. A., Samorodskaya O. A. Comparative analysis of Lada Lagrus re-equipment for compressed or liquefied gas // In the collection: ADVANCED SCIENCE. collection of articles of the VIII International Scientific and Practical Conference. At 2 o'clock.. Executive editor: Gulyaev German Yuryevich. 2019. pp. 123-125.
7. Krivchuk M. A. Expediency of HBO application in modern conditions // Modern science. 2020. No. 6-2. pp. 276-277.
8. Golikov R. O. On the expediency of using gas-powered cars / R. O. Golikov, N. T. Lozovsky // Trudy NSTU named after R. E. Alekseev. 2014. No. 4 (106). pp. 243-248.
9. Kazantsev A. A. Analysis of types of gas-cylinder equipment // In the collection: Materials of the 65th Student Scientific and practical conference of the Engineering Faculty of the Samara State Agrarian University. Collection of scientific papers. 2020. P. 284-290.
10. Voznesensky M. A., Solodovnikov D. N. Analysis of gas equipment for motor transport // In the collection: PATTERNS AND TRENDS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF SOCIETY. collection of articles on the results of the International Scientific and Practical Conference: in 3 parts. 2018. pp. 32-35.
11. Pavlov N. G., Ivanov O. A., Vasilyeva V. V. Advantages and disadvantages of automotive gas cylinder equipment // In the collection: YOUNG SCIENTISTS OF RUSSIA. collection of articles of the II All-Russian Scientific and Practical Conference. Penza, 2020. Pp. 38-40.
12. Burlev Yu. V. et al. Device, maintenance and repair of fuel equipment of cars. - M.: Higher School, 1982.
13. vtomekhanik. Device, maintenance and repair of motor vehicles: training manual / Under the editorship of A. S. Trofimenko. Rostov n/A: Phoenix, 2001.
14. Manual for operation, maintenance and repair of VAZ 2106 cars. Comp. V. A. Ametov, A. P. Ignatov. - M.: Izd-vo "Rosavtodor", 2003.
15. Car maintenance and repair: a textbook for students. Environmental institutions. Professor Education / V. M. Vlasov, S. V. Zhankaziev. - M.: Publishing Center "Academy", 2003.
16. Regulations on the maintenance and repair of rolling stock of rolling stock cars-M.: Transport, 1988. - 78c.

РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ, ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 504.062

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СФЕРЫ ОБРАЩЕНИЯ С КОММУНАЛЬНЫМИ ОТХОДАМИ Г. СЕВАСТОПОЛЯ

Ф.Ф. Ахметшина¹ студент, Д.С. Шенин² студент, Л. И. Осадчая³ доцент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: farida248@yandex.ru

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

³ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: lila1809@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены основные направления развития сферы обращения с коммунальными отходами г. Севастополя, установлены социально-экономические, организационные, технологические и технические условия города как объекта санитарной очистки. Также оценены объемы сбора и переработки отходов, описаны приемы и методы управления утилизацией отходов. Установлено, что на сегодняшний день работу системы управления отходами в г. Севастополь можно оценить как неудовлетворительно, город отстаёт в решении этого вопроса от других более развитых городов. Выявлено, что наибольшая часть образующихся отходов в городе приходится на отходы 4 и 5 классов опасности. В частности, образование отходов 4 класса опасности представлено группой твёрдых коммунальных отходов, а также отходов, связанных с проведением строительных и ремонтных работ; значительная доля отходов 5 класса опасности приходится на сельскохозяйственный сектор, а именно на растительные остатки от ухода за посадками деревьев. В работе также проанализированы основные положения территориальной схемы обращения с отходами, которая формирует систему обращения с отходами на территории города Севастополя и является обязательной для исполнения региональным оператором по обращению с твёрдыми коммунальными отходами и другими операторами, осуществляющими обращение с твёрдыми коммунальными отходами на территории города-региона.

Ключевые слова: отходы, переработка, твердые коммунальные отходы, ТКО, сбор, мусор, переработка, очистка, накопление.

THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF THE SPHERE OF MUNICIPAL WASTE MANAGEMENT IN SEVASTOPOL

F.F. Akhmetshina¹ student, D.S. Shenin² student, L.I. Osadchaya³ Associate Professor

¹ Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: farida248@yandex.ru

² Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: d.s.shenin@gmail.com

³ Sevastopol State University, 33 Universitetskaya str., Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: lila1809@mail.ru

Annotation

The article considers the main directions of development of the sphere of municipal waste management in Sevastopol, establishes the socio-economic, organizational, technological and technical conditions of the city as an object of sanitary cleaning. The volumes of waste collection and recycling are also estimated, and the techniques and methods of waste management are described. It is established that today the work of the waste management system in Sevastopol can be assessed as unsatisfactory, the city lags behind in solving this issue from other more developed cities. It is revealed that the largest part of the generated waste in the city is accounted for by waste of the 4th and 5th hazard classes. In particular, the generation of hazard class 4 waste is represented by a group of solid municipal waste, as well as waste related to construction and repair work; a significant share of hazard class 5 waste is accounted for in the agricultural sector, namely, plant residues from tree planting. The paper also analyzes the main provisions of the territorial waste management scheme, which forms the waste management system on the territory of the city of Sevastopol and is mandatory for the regional operator for the management of solid municipal waste and other operators that handle solid municipal waste on the territory of the city-region.

Keywords: waste, recycling, solid municipal waste, SMW, collection, garbage, recycling, cleaning, accumulation.

Введение

Сегодня в большинстве стран мира в обращении с твердыми коммунальными отходами (ТКО) набирает популярность переход от стратегии их складирования на полигонах и мусоросжигания к альтернативным решениям этой проблемы, которые позволяют максимально снизить негативное влияние отходов на окружающую среду и обеспечить использование вторичного сырья отходов и их энергетического ресурса.

Практический опыт обезвреживания ТКО в разных странах мира свидетельствует о том, что не существует универсального метода, который бы удовлетворял все современные требования санитарии, экологии, экономики, ресурсосбережения и рынка. Этим требованиям и тенденциям развития мировой практики в наибольшей степени отвечает внедрение комплексной системы сбора, переработки и утилизации ТКО, которая, в частности, обеспечивает использование отходов как источника вторичного сырья и энергии.

Если во время складирования на полигонах и свалках морфологический состав ТКО существенно не влияет (или почти не влияет, за исключением наличия органических компонентов) на технологию работ, технические показатели и экологическое состояние окружающей среды, то при промышленной переработке он имеет большое значение. Главными показателями качества отходов становятся их влажность, морфологический и фракционный состав, соотношение органических и неорганических веществ, содержание ценных компонентов вторичного сырья, теплота сгорания, и тому подобное.

В последние годы произошли значительные изменения в морфологическом составе ТКО, в них увеличилось количество полимеров, картона, бумаги и значительно меньше стало пищевых отходов. В связи с этим возникает вопрос о необходимости раздельного сбора отдельных компонентов ТКО как для населения, так и для крупных торговых предприятий, например, для супермаркетов, рынков.

Эти предприятия, при условии материальной заинтересованности, могут собирать остатки тар и упаковок, пищевых отходов, а также стекло и ресурсно-ценные фракции полимеров. Зарубежный опыт показывает, что в тех странах, где работает система раздельного сбора отдельных

компонентов ТКО, мусороперерабатывающие заводы работают эффективнее [1].

Сегодня в России особенно остро стоит проблема обращения с ТКО, а именно – с привлечением этих отходов во вторичное использование. Это связано с необходимостью в экономии и поиска альтернативных источников энергии, а также с острыми экологическими проблемами, которые создают растущие объемы и новый состав ТКО.

Основная часть

Полной мерой исследуемая проблема касается и г. Севастополя, где технологии обращения с бытовыми отходами также должны развиваться по направлениям ресурсо- и энергосбережения. Следует отметить следующие условия г. Севастополя, как объекта санитарной очистки.

Социально-экономические условия:

- подавляющее большинство жителей города (более 80%) проживает в многоквартирных (высотных и малоэтажных) благоустроенных жилых домах и незначительная часть (до 20%) – в секторе индивидуальной жилой застройки;
- в городе сравнительно дешевая рабочая сила, низкий уровень занятости населения и значительный уровень безработицы, увеличивается число жителей за счет студентов, прибывших на учебу и туристов;
- последствиями указанных явлений является увеличение темпов прироста объемов образования ТКО и изменение их состава, в котором стало меньше пищевых, но больше крупногабаритных и строительных отходов.

Организационные условия:

- организацию работ по санитарной очистке, благоустройству и озеленению города, а также сбор по вывоз ТКО осуществляют хорошо организованные специализированные предприятия со значительным опытом работы, достаточным кадровым и техническим обеспечением;
- сфере санитарной очистки и уборки города уделяется должное внимание со стороны органов городской власти;
- рынок коммунальных отходов в городе полностью монополизирован и приватизирован, оператор рынка имеет частную форму собственности и переходит на прямые договорные отношения с заказчиками услуг (образователями отходов), как юридическими, так и физическими лицами (владельцами частных домов и квартир);
- в частной собственности находятся также основной объект по утилизации ТКО – единственный действующий полигон.

Технологические условия:

- в регионе действует система одноэтапного вывоза твёрдых коммунальных отходов с предварительным сбором в преобладающем большинстве в контейнеры объёмом 0,24 м³ – 35% и 1,1 м³ – 43% от общего количества контейнеров, в контейнеры неоднородного типа – 22%;
- в Севастополе для накопления твёрдых коммунальных отходов контейнеры объёмом от 0,75 до 1,1 м³ используются в основном в зонах застройки многоквартирными домами. Для накопления твёрдых коммунальных отходов в зоне застройки индивидуальными жилыми домами, в зоне садоводческих, дачных и огороднических товариществ, как правило, используются бесконтейнерная система накопления ТКО;
- отдельные площадки для накопления крупногабаритных отходов на территории региона, как правило, не оборудуются, население размещает такие отходы на тех же площадках, где размещается ТКО;
- в некоторых муниципальных образованиях в многоквартирных домах организована система накопления посредством мусоропроводов. При этом отходы накапливаются в специально отведённом помещении внутри дома в течение суток и более, что приводит к распространению запахов, размножению насекомых и грызунов, являющихся переносчиками различных заболеваний;
- широко применяется бестарная система – вывоз отходов при помощи специализированной техники без использования контейнеров для отходов, при этом заезд мусоровывозящей техники к определённому объекту осуществляется в установленные дни и часы;
- также на территории Севастополя существует возможность применения заявочной системы – вывоз твёрдых коммунальных отходов по разовым заявкам (по заявке заказчика организация, осуществляющая транспортирование отходов, устанавливает свой контейнер на определённый срок, либо предоставляет специализированный транспорт под крупногабаритные отходы, заказчик своими силами производит загрузку отходов в контейнеры или машины);
- бесконтейнерная система охватывает большую часть территорий сельских поселений. Отходы, образующиеся у жителей частного сектора, садоводческих товариществ, в гаражных кооперативах складываются в контейнеры, что приводит к захламлённости территории.

Технические условия:

- по городу установлено 18 павильонов для раздельного сбора, планируется установка дополнительных павильонов;
 - установлено 150 единиц бункеров-накопителей объёмом 8 м³ для сбора крупногабаритных отходов;
 - в электронную модель территориальной схемы внесена информация по 3 820 контейнерным площадкам и 10 885 расположенным на них контейнерам (в среднем 3 контейнера на площадку).
- Поскольку преобладающими секторами экономической деятельности города являются строительство, сфера туризма и услуг, грузоперевозки, судоремонт, основные виды образующихся отходов по классам опасности составляют следующие группы:
- отходы 1 класса опасности, которые представлены, в основном, отработанными ртутьсодержащими лампами и медицинскими термометрами;
 - отходы 2 класса опасности представлены отработанными свинцовыми и щелочными аккумуляторными батареями, и, в незначительной части, непригодными химическими реагентами от исследовательских и аналитических лабораторий;
 - основная доля образующихся опасных отходов приходится на отходы 3 класса опасности, а именно на отходы, содержащие нефтепродукты: отработанные нефтемасла, промасленная ветошь, загрязнённый нефтепродуктами грунт, загрязнённая тара, а также нефтесодержащие отходы, образующиеся при хранении и транспортировании нефтепродуктов;
 - наибольшая часть образующихся отходов в г. Севастополе приходится на отходы 4 и 5 классов опасности. В частности, образование отходов 4 класса опасности представлено группой твёрдых коммунальных отходов, а также отходов, связанных с проведением строительных и ремонтных работ;
 - значительная доля отходов 5 класса опасности приходится на сельскохозяйственный сектор, а именно на растительные остатки от ухода за посадками деревьев.

В таблице 1 представлены сводные данные о количестве образующихся отходов производства и потребления на территории города Севастополя по видам отходов на основании отчётности 2-ТП (отходы) [2].

Таблица 1. Сводная информация о количестве различных видов отходов, образующихся на территории г. Севастополя.

№ п/п	Наименование вида отхода	Класс опасности	Образовано, тонн
1	Твёрдые коммунальные отходы	IV-V	223 389
	в том числе крупногабаритные отходы	V	31 025
2	Отходы сельского, лесного хозяйства, рыбоводства и рыболовства (блок 1 ФККО)	III-V	39
3	Отходы от добычи полезных ископаемых (блок 2ФККО)	IV-V	154 496
4	Отходы обрабатывающих производств (блок 3ФККО)	IV-V	5 097
5	Отходы потребления, производственные и непроизводственные (блок 4 ФККО)	I-V	20 762
6	Отходы обеспечения электроэнергией, газом и паром (блок 6 ФККО)	IV-V	1 131
7	Отходы при водоснабжении, водоотведении (блок 7 ФККО)	III-V	14 958
8	Отходы строительства и ремонта (блок 8 ФККО)	III-V	46 737
9	Отходы при выполнении прочих видов деятельности (блок 9 ФККО)	II-V	1 836
Итого:			468 444

Список литературы

1. Мочалова Л. А., Гриненко Д. А., Юрак В. В. The management of solid municipal waste: domestic and foreign experience. // Известия Уральского государственного горного университета // Известия УГТУ. 2017. Вып. 3(47). С. 97–101. DOI 10.21440/2307-2091-2017-3-97-101
2. Департамент природных ресурсов и экологии города Севастополя. / [Система обращения с отходами на](#)

Количество твёрдых коммунальных отходов определено отдельно, на основании сведений об источниках образования твёрдых коммунальных отходов и нормативов накопления твёрдых коммунальных отходов.

На сегодняшний день разработана территориальная схема обращения с отходами, которая формирует систему обращения с отходами на территории города Севастополя и является обязательной для исполнения региональным оператором по обращению с твёрдыми коммунальными отходами и другими операторами, осуществляющими обращение с твёрдыми коммунальными отходами на территории города-региона.

Территориальной схемой предусмотрена модернизация действующего Первомайского полигона ТКО. Запланирован ввод в эксплуатацию 2-й карты третьей очереди полигона, предназначенной для спрессованного мусора, прошедшего этап брикетирования отходов. Инвестиции на увеличение вместимости Первомайского полигона ТКО не предусмотрены, поскольку 2-ая карта 3-ей очереди в настоящее время оборудована, но не эксплуатируется до момента ввода в эксплуатацию нового объекта сортировки и утилизации [3].

Заключение

В целом, анализ системы обращения с ТКО в городе Севастополь выявил наличие проблем, требующих решения. Учитывая технологические, экологические, санитарно-гигиенические и социально-экономические факторы, в г. Севастополь целесообразно внедрить комплексную систему, которая будет базироваться на применении современных методов сбора и вывоза коммунальных отходов с использованием широкой гаммы неизменяемых и изменяемых мусоросборных контейнеров; кузовных и контейнерных уборочных мусоровозов различных классов грузоподъемности; заготовки вторичного сырья, в частности через сеть заготовительных пунктов (стационарных и передвижных), путем его изъятия на стадии образования; организации раздельного сбора некоторых видов отходов и отдельных компонентов с последующей их переработкой.

[территории города Севастополя](http://ecosev.ru/deyatelnost/obrashchenie-s-otkhodami/344-obshchie-svedeniya/1597-sistema-obrashcheniya-s-otkhodami-na-territorii-goroda-sevastopolya). [http://ecosev.ru/deyatelnost/obrashchenie-s-otkhodami/344-obshchie-svedeniya/1597-sistema-obrashcheniya-s-otkhodami-na-territorii-goroda-sevastopolya]

3. Постановление от 27.12.2019 года N 698-ПП / Об утверждении Территориальной схемы обращения с отходами г. Севастополь. [http://docs.cntd.ru/document/561701726]

References

1. Mochalova L. A., Grinenko D. A., Yurak V. V. The management of solid municipal waste: domestic and foreign experience. // Bulletin of the Ural State Mining University // Bulletin of the USMU. 2017. Issue. 3 (47). S. 97-101. DOI 10.21440 / 2307-2091-2017-3-97-101
2. Department of Natural Resources and Ecology of the city of Sevastopol. / Waste management system in the city of Sevastopol. [http://ecosev.ru/deyatelnost/obrashchenie-s-otkhodami/344-obshchie-svedeniya/1597-sistema-obrashcheniya-s-otkhodami-na-territorii-goroda-sevastopolya]
3. Resolution of December 27, 2019 N 698-PP / On approval of the Territorial waste management scheme for the city of Sevastopol. [http://docs.cntd.ru/document/561701726]

УДК 504.4.054:628.19

АНАЛИЗ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

А.Р. Герасимов¹, И.Н. Лукьяненко², Г.А. Сигора³

^{1,2,3} ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru, sonik-38@mail.ru

Аннотация

Целью данной научной статьи является изучение воздействия на человека опасных и вредных производственных факторов и рассмотрение мероприятий по защите персонала от их влияния. Важность для работника в улучшении условий труда, повышении его безопасности, снижения уровня профессиональных заболеваний.

Объектом данной работы является - опасные и вредные производственные факторы. Предметом - воздействие на человека опасных и вредных производственных факторов.

В данной работе были установлены потенциально возможные вредные и опасные производственные факторы для различных производственных процессов. Рассмотрена классификация данных факторов, природа их воздействия и их влияние на человека. Были выявлены наиболее опасные факторы и факторы, с которыми человек сталкивается чаще всего. Они рассмотрены более детально.

Для оценки воздействия негативных факторов проанализирован закон Вебера-Фехнера. Рассмотрены различные максимальные значения ПДК и ПДУ.

В заключении для примера был проведен анализ воздействия на человека опасных и вредных производственных факторов, анализ основных негативных факторов на примере предприятия Севастополя. Предложены технические мероприятия по улучшению условий труда и основные методы защиты работников от влияния вредных и опасных факторов на производстве.

Ключевые слова: производственные факторы, условия труда, профессиональные заболевания, биологические эффекты, предельно допустимые уровни, концентрация, нормы, шум, вибрация, пыль, защита.

ANALYSIS OF HAZARDOUS AND HARMFUL FACTORS AT THE ENTERPRISES OF SEVASTOPOL

A.R. Gerasimov¹, I.N. Lukyanenko², G.A. Sigora³

^{1,2,3} Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru, sonik--38@mail.ru

Abstract

The purpose of this scientific article is to study the impact on humans of hazardous and harmful production factors and consider measures to protect personnel from their influence. The importance for the employee in improving working conditions, increasing his safety, reducing the level of occupational diseases.

The object of this work is - hazardous and harmful production factors. The subject is the impact on humans of hazardous and harmful production factors.

In this work, potentially possible harmful and hazardous production factors for various production processes were identified. The classification of these factors, the nature of their impact and their impact on humans are considered. The most dangerous factors and factors that a person encounters most often were identified. They are considered in more detail.

To assess the impact of negative factors, the Weber-Fechner law was analyzed. Various maximum values of MPC and MPL are considered.

In conclusion, for example, an analysis of the impact on a person of hazardous and harmful production factors was carried out, an analysis of the main negative factors on the example of an enterprise in Sevastopol. Technical measures to improve working conditions and the main methods of protecting workers from the influence of harmful and dangerous factors in production are proposed.

Keywords: production factors, working conditions, occupational diseases, biological effects, maximum permissible levels, concentration, norms, noise, vibration, dust, protection.

1. Введение

Комфортные условия и повышение безопасности труда на производстве являются очень важной социально-экономической задачей развития различных организаций и предприятий нашей страны. Активное потребление природных ресурсов и загрязнение окружающей среды, широкое внедрение техники, систем механизации и автоматизации во все сферы общественно-производственной деятельности сопровождаются появлением и широким распространением различных природных, биологических, техногенных и других опасностей.

Все это создает реальные предпосылки для улучшения условий труда, повышения его безопасности, снижения уровня профессиональных заболеваний. Решение проблемы безопасности жизнедеятельности состоит в обеспечении нормальных (комфортных) условий производственной деятельности людей, в защите человека и окружающей его производственной среды от воздействия вредных факторов, превышающих нормативно допустимые уровни. [1].

Поддержание оптимальных условий деятельности и отдыха человека создает предпосылки для высокой работоспособности и продуктивности. Обеспечение безопасности труда и отдыха способствует сохранению жизни и здоровья людей за счет снижения травматизма и заболеваемости. За последние годы удалось добиться значительных результатов в профилактике производственного травматизма. Поэтому работник службы охраны труда должен проводить контроль параметров и уровня отрицательных воздействий на организм человека, на их соответствие нормативным требованиям; эффективно применять средства защиты от отрицательных воздействий;

разрабатывать мероприятия по повышению безопасности производственной деятельности; планировать и осуществлять мероприятия по повышению устойчивости производственных систем и объектов.

2. Основной материал

На здоровье человека постоянно оказывают влияние различные факторы. Большую часть дня человек проводит на работе, поэтому важное значение для хорошей работоспособности и здоровья играет создание благоприятной и безопасной атмосферы.

Имеется много предприятий, на которых производство связано с риском для здоровья человека. Вредные и опасные факторы, постоянно окружающие сотрудников, могут существенно снижать работоспособность и оказывать негативное влияние на здоровье. [2].

Под вредными производственными факторами подразумевают факторы рабочей среды, которые могут способствовать развитию патологий, снижению работоспособности, повышению частоты инфекционных заболеваний.

К вредным производственным факторам можно отнести:

- неблагоприятные метеорологические условия;
- запыленность и загазованность воздушной среды;
- воздействие шума, инфра- и ультразвука, вибрации;
- наличие электромагнитных полей, лазерного и ионизирующих излучений и др.

Если вредные факторы оказывают слишком длительное воздействие на человека, то они уже могут перейти в разряд опасных. То есть приводить к резкому и внезапному нарушению здоровья.

К опасным производственным факторам можно отнести:

- электрический ток определенной силы;
- раскаленные тела;

- возможность падения с высоты самого работающего, либо различных деталей и предметов;

- оборудование, работающее под давлением выше атмосферного и др.

Вредные и опасные факторы могут быть природного, или естественного, и антропогенного происхождения, то есть возникающие по вине человека. [3].

Если рассматривать природу воздействия на человека, то производственные факторы можно подразделить на следующие группы: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Каждая из групп также может иметь естественное или антропогенное происхождение.

При оценке воздействия негативных факторов на человека следует учитывать степень влияния их на здоровье и жизнь человека, уровень и характер изменений функционального состояния и возможностей организма его потенциальных резервов, адаптивных способностей и возможности их развития.

На базе закона Вебера-Фехнера построено нормирование вредных факторов. Чтобы исключить необратимые биологические эффекты, воздействие факторов

ограничивается предельно допустимыми уровнями концентрации (ПДК).

ПДУ или ПДК – это максимальное значение фактора, которое, воздействуя на человека (изолированно или в сочетании с др.), не вызывает у него и у его потомства биологических изменений, даже скрытых и временно компенсируемых (в т.ч. заболеваний, изменений реактивности, адаптационно-компенсаторных возможностей, иммунологических реакций, нарушений физиологических циклов, а также психологических нарушений, снижение интеллектуальной и эмоциональной способностей, умственной работоспособности).

ПДК и ПДУ устанавливают для производственной и окружающей среды.

Эта классификация (представлена в таблице 1) учитывает значения допустимых концентраций в воздухе при 20 °С, размеры зон острого и хронического действия, коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО). КВИО - отношение максимально достижимой концентрации вредного вещества в воздухе при 20 °С к средней смертельной концентрации для мышей (ГОСТ 12.1.007-76).

Таблица 1. Классификация химических веществ по степени опасности (ГОСТ 12.1.007-76)

Показатели	Класс опасности			
	1	2	3	4
ПДК мг/м ³	< 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	> 10,0
ЛД ₅₀ р/о мг/кг	< 15	15-150	151-5000	< 5000
ЛД ₅₀ р/cut мг/кг	< 100	100-500	501-2500	< 2500
ЛК ₅₀ час мг/м ³	< 500	500-5000	5001-50000	< 50000
КВИО	> 300	300-30	29-3	> 3

Основные негативные факторы производственной среды: производственный шум, ультразвук, производственная вибрация, производственная пыль, производственные яды, лазерное излучение, электромагнитные поля, ионизирующие излучения и радиоактивные вещества.

Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности (силы), возникающих при механических колебаниях в твердых, жидких и газообразных средах. Звуковые волны возникают при нарушении стационарного состояния среды вследствие воздействия на нее какой-либо возмущающей силы. Звуки, издаваемые гармонически колеблющимся телом, называются музыкальным тоном. Музыкальные тоны отличаются громкостью и

высотой. Громкость определяется амплитудой колебаний, высота звука определяется частотой.

Органы слуха человека воспринимают звуковые волны с частотой 16....20000 Гц. Колебания с частотой ниже 16 Гц (инфразвук) и выше 20000 Гц (ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на организм.

Под вибрацией понимают возвратно-поступательно движение твердого тела. Это явление широко распространено при работе различных механизмов и машин. Источники вибрации: транспортеры сыпучих грузов, перфораторы, зубчатые передачи, пневмомолотки, двигатели внутреннего сгорания, электромоторы и т. д.

Основные параметры вибрации: частота (Гц), амплитуда колебания (м), период

колебания (с), виброскорость (м/с) виброускорение (м/с').

При частоте колебаний рабочих мест, близкой к собственным частотам внутренних органов, возможны механические повреждения или даже разрывы. Систематическое воздействие общих вибраций, характеризующихся весом уровнем скорости, приводит к вибрационной болезни, которая характеризуется нарушениями физиологических функций организма, связанными с поражением центральной нервной системы. Эти нарушения вызывают головные боли, головокружения, нарушения сна, снижение работоспособности, ухудшение самочувствия, нарушения деятельности.

Местная вибрация малой интенсивности может слабо воздействовать на организм человека.

Ультразвуковые волны способны вызывать разнонаправленные биологические эффекты, характер которых определяется интенсивностью ультразвуковых колебаний, частотой, временными параметрами колебаний (постоянный, импульсный), длительностью воздействия, чувствительностью тканей.

При систематическом воздействии интенсивного низкочастотного ультразвука, если его уровень превышает предельно допустимый, у работников могут наблюдаться функциональные изменения центральной и периферической нервной системы, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, слухового и вестибулярного анализаторов, гуморальные нарушения.

Производственная пыль — одна из наиболее распространенных профессиональных вредностей, которая может вызывать пылевые заболевания, занимающие первое место среди профессиональных заболеваний.

Образование пыли и ее выделение в воздух рабочей зоны имеет место во многих отраслях промышленности: в горнорудной и угольной промышленности — при бурении породы, взрывных работах, сортировке, измельчении; в машиностроении — при очистке, обрубке литья, шлифовке, полировке изделий; металлургии и химии — при выполнении пирометаллургических процессов выплавки металлов и плавки различных минеральных материалов; на текстильных предприятиях — при очистке и сортировке шерсти, хлопка, при прядении, ткачестве и др. [4].

Под влиянием пыли могут развиваться как специфические, так и неспецифические заболевания. Специфическая патология проявляется в виде пневмокониозов — фиброза легочной ткани.

Наиболее опасным заболеванием является силикоз. Он может развиваться у рабочих горнорудной, угольной, машиностроительной промышленности и др. При силикозе тяжелые склеротические изменения наблюдаются в органах дыхания с одновременными значительными нарушениями в нервной, сердечно-сосудистой, пищеварительной, лимфатической системах. Нормы запыленности воздуха производственных помещений приведены в таблице 2.

Таблица 2. Нормы запыленности воздуха производственных помещений

Пыль	Содержание свободного кристаллического SiO ₂ %	Предельная норма пыли в воздухе, мг/м ³
Породная	Более 70	1
	10-70	2
Силикатная	Более 10	4
Барита, апатита, фосфорита	Менее 10	6
Искусственных абразивов	Не содержит	5
Цемент, глины	Не содержит	6
Угольная	Более 10	2
	Менее 10	4
	Не содержит	10

Согласно статистическим данным наиболее крупные предприятиями-загрязнителями в городе Севастополе являются:

- ГУП «Благоустройство города Севастополя» 2126,9 т;
- АО «Балаклавское рудоуправление им. А.М. Горького» 914,3 т;
- ГУП города Севастополя «Севтеплоэнерго» 706,5 т.

ГУП «Благоустройство города Севастополя»:

Предприятие осуществляет деятельность в области жилищно-коммунального хозяйства. Основной вредный фактор — выброс в атмосферу химических веществ от полигона твердых бытовых отходов.

Источниками образования загрязняющих веществ являются следующие установки и техпроцессы:

Площадка №1: Производственная база, полигон твердых бытовых отходов - Тело полигона (ИБ №1). В процессе эксплуатации полигона ТБО, а также в течение продолжительного времени после его рекультивации происходит выделение свалочных газов в атмосферный воздух.

Площадка №2: Производственная база - Стоянка автотранспорта (ИБ №6). Внутригаражные развязки автотранспорта является неорганизованным источником третьего типа №6004. В атмосферу выбрасывается: азота диоксид, азота оксид, сера диоксид, углерод оксид, бензин, керосин.

В процессе инвентаризации было выявлено: 5 источников загрязнения атмосферы. В выбросах предприятия обнаружено 22 загрязняющих вещества, выбрасываемых в атмосферу, которые образуют 11 групп веществ, обладающих эффектом комбинированного вредного действия.

Методы защиты работников от влияния вредных и опасных факторов в силу их большого разнообразия также многочисленны.

Принцип защиты: совершенствование технологических процессов с целью уменьшения вредных выбросов, шума, вибрации, модернизация или замена оборудования, не удовлетворяющего современным требованиям безопасности труда и санитарно-гигиенических нормативов, оснащение помещений, оборудования и рабочих мест необходимыми средствами коллективной защиты (вентиляцией, приборами освещения, ограждениями и др.);

Защита расстоянием: Данный метод защиты заключается в том, чтобы по возможности устранить зоны пересечения гомосферы (пространство, в котором действует человек) и ноксосферы (пространство, в котором возможно

проявление опасных и вредных производственных факторов). [5].

Защита временем: Этот метод используется в тех случаях, когда первые два метода невозможно применить по техническим причинам или их реализация не дает удовлетворительного результата. В таком случае нормативно устанавливается допустимое время пребывания человека в зоне повышенной опасности или вредности (например, в условиях воздействия мощных источников электромагнитного излучения).

3. Заключение

Поддержание нормальной жизнедеятельности предприятия производится за счет целого комплекса мероприятий, которые можно свести к следующим группам: организационно-технические; санитарно-гигиенические; лечебно-профилактические.

Основными опасными и вредными производственными факторами на производстве являются: повышенные уровни шума и вибрации; ультразвуковое излучение, запыленность помещений и др. Безопасные условия труда могут обеспечиваться только при выполнении нормативов безопасности, а также во всех цехах должны соблюдаться санитарно-гигиенические требования и выполняться лечебно-профилактические мероприятия защиты человека от неблагоприятных воздействий.

В данной статье проведен анализ воздействия на человека опасных и вредных производственных факторов, анализ основных негативных факторов на примере предприятия Севастополя, предложены технические мероприятия по улучшению условий труда направленные на снижение влияния образующихся отходов на состояние окружающей среды и др.

Список литературы

1. Смирнов В.К. Токарь-расточник. Учебник для проф.-техн. уч-щ.— 3-е изд., доп. и перераб. / В.К. Смирнов // М.: Высш. Школа. - 1978. — 224 с
2. Елькин А.Б., Тишков К.Н. Управление безопасностью труда: учеб. пособие Нижегород.гос.техн.ун-т им. Р.Е.Алексеева / А.Б. Елькин, К.Н. Тишков // Нижний Новгород, - 2008. - 105с.
3. Лапин В. Л., Управление охраной труда на предприятии / В.Л. Лапин, Н.И. Сердюк // М.: МИТК МАТИ. - 1986. - 165с.
4. Грачев А. М. Страховое возмещение вреда работникам, пострадавшим на производстве / А. М. Грачева, С.Н. Яшин // Н. Новгород: Биота-плюс. - 2003. - 182с.
5. Осипов В.В. Трудовое законодательство для специалистов по охране труда. Практическое пособие / В.В. Осипов, Н.Н. Усова // СПб.:ЦОТТБСППО. - 2014. - 108с.

References

1. Smirnov V.K. Turner-boring machine. Textbook for prof.-tech. uch-sch. - 3rd ed., add. and revised / VC. Smirnov // M.: Higher. School. - 1978. - 224 s

2. Elkin A.B., Tishkov K.N. Occupational safety management: textbook. allowance Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva / A.B. Elkin, K.N. Tishkov // Nizhny Novgorod, - 2008. -- 105p.
3. Lapin V.L., Occupational safety management at the enterprise / V.L. Lapin, N.I. Serdyuk // M.: MITK MATI. - 1986. -- 165s.
4. Grachev AM Insurance compensation for harm to workers injured at work / AM Gracheva, SN. Yashin // N. Novgorod: Biota-plus. - 2003. -- 182s.
5. Osipov V.V. Labor legislation for labor protection specialists. Practical guide / V.V. Osipov, N.N. Usova // SPb.: TSOTTBSPPO. - 2014. -- 108s.

УДК 504.4.054:628.19

ПРОБЛЕМА ЛИКВИДАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

А.Р. Герасимов¹, Т.Ю. Хоменко², Г.А. Сигора³

^{1,2,3}ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru, sonik--38@mail.ru

Аннотация

Целью данной научной статьи является изучение проблемы возникновения и ликвидации радиоактивных отходов, а также переработки отработанного ядерного топлива, хранящегося в «могильниках» по всему миру десятками лет.

На сегодняшний день самым экологическим и экономически выгодным вариантом получения энергии является атомная энергетика. В статье рассмотрены основные достоинства и недостатки атомных электростанций. Проведен сравнительный анализ двух типов реакторов – на тепловых и быстрых нейтронах. Самый инновационный подход в атомной энергетике, способный исключить проблему с радиоактивными отходами – это внедрение реакторов на быстрых нейтронах. Установлено, что для получения большего количества энергии, нанося при этом минимальный урон окружающей среде, эффективней будет использовать комбинированные реакторы на тепловых и быстрых нейтронах. Это позволит значительно расширить топливную базу.

Реакторы на быстрых нейтронах способны решить экологические проблемы, связанные с отработанным ядерным топливом от реакторов на тепловых нейтронах. При этом реакторы на быстрых нейтронах (бридеры) способны «сгенерировать» топливо для реакторов на тепловых нейтронах, что создаст замкнутый топливный цикл, который обеспечит получение энергии для человечества на несколько сотен лет.

Ключевые слова: отходы, переработка, ядерное топливо, утилизация, атомная энергетика, вредные вещества, топливо, атмосфера, реактор, бридер, топливный цикл.

THE PROBLEM OF ELIMINATION AND DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE

A.R. Gerasimov¹, T.Yu. Khomenko², G.A. Sigora³

¹ Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru, sonik--38@mail.ru

Abstract

The purpose of this scientific article is to study the problem of the emergence and elimination of radioactive waste, as well as the processing of spent nuclear fuel stored in "repositories" around the world for tens of years.

Today, the most environmentally friendly and economically viable option for generating energy is nuclear power. The article discusses the main advantages and disadvantages of nuclear power plants. A comparative analysis of two types of reactors - thermal and fast neutrons - has been carried out. The most innovative approach in nuclear power that can eliminate the problem with radioactive waste is the introduction of fast neutron reactors. It has been established that in order to obtain a larger amount of energy, while causing minimal damage to the environment, it will be more efficient to use combined thermal and fast neutron reactors. This will significantly expand the fuel base.

Fast reactors are capable of solving the environmental problems associated with spent nuclear fuel from thermal reactors. At the same time, fast reactors (breeders) are able to "generate" fuel for thermal reactors, which will create a closed fuel cycle that will provide energy for humanity for several hundred years.

Key words: waste, reprocessing, nuclear fuel, disposal, nuclear energy, hazardous substances, fuel, atmosphere, reactor, breeder, fuel cycle.

1. Введение

Около 30 млрд. тонн углекислого газа поступает в атмосферу каждый год. Это происходит из-за постоянного выбрасывания в окружающую среду вредных веществ от сгорания топлива на теплоэлектростанциях (ТЭС).

ТЭС – занимают первое место по количеству выбросов вредных газов в атмосферу [1].

Среди многообразия загрязнителей, поступающих в воздушный бассейн в результате работы ТЭЦ, наиболее распространенными являются твердые частицы, диоксид серы, оксиды азота и угарный газ. Количество и соответствующая структура выбросов весьма разнообразны.

Все выбросы ТЭЦ являются токсическими веществами, негативно воздействующими на организм человека. Полициклические ароматические углеводороды обладают мощным канцерогенным действием (т.е. вызывают рак – онкологические заболевания). Содержащиеся в выбросах тяжелые металлы и микроэлементы могут накапливаться в различных органах человека или, сосредотачиваясь в почвах, сельскохозяйственных растениях, попадать с продуктами питания в организм человека.

Оксиды азота и серы способны соединяться с атмосферной влагой, формируя при этом «кислотные дожди», которые наносят колоссальный ущерб не только человеку и животным, но и растительной среде и почве.

Поэтому, мы убеждены, что на сегодняшний день самым экологическим и экономически выгодным вариантом получения энергии является атомная энергетика. Атомные станции не выбрасывают в атмосферу ядовитые вещества, а отходы от их работы можно даже использовать!

2. Основной материал

В атомной энергетике есть много достоинств, таких как: отсутствие выбросов в атмосферу, большая мощность, экономичность.

Однако, есть и огромный недостаток – это их радиоактивные отходы, которые содержат в себе плутоний, калифорний, цезий. Эти радиоактивные вещества способны негативно влиять на все живые организмы и окружающую среду.

При работе АЭС накапливаются отходы, которые люди годами складировали и хранили в специальных хранилищах или подземных

шахтах. Однако хранение радиоактивных отходов влечет к неизбежным затратам и рискам.

Самый инновационный подход в атомной энергетике, способный исключить проблему с радиоактивными отходами – это внедрение реакторов на быстрых нейтронах [2].

Классические реакторы на тепловых нейтронах используют в качестве топлива только изотопы урана 235 и урана 233, а также изотоп плутония 239. Поэтому работа данных реакторов не способна раскрыть весь потенциал ядерного топлива, а их отходы отрицательно влияют на окружающую среду.

Реактор на быстрых нейтронах – ядерный реактор, в активной зоне которого нет замедлителей нейтронов и спектр нейтронов близок к энергии нейтронов деления. Нейтроны этих энергий называют быстрыми, отсюда и название этого типа реакторов.

Благодаря новым реакторам атомная энергетика сможет быть еще безопаснее, при этом решив ряд экологических проблем.

Реакторы на быстрых нейтронах полностью исключают вредное экологическое влияние на окружающую среду от ТЭЦ, а также используют отработанное ядерное топливо от реакторов на быстрых нейтронах, которое десятилетиями было главной экологической проблемой.

Эти реакторы способны вовлечь в топливный цикл такие материалы как уран-238 и торий-232. Благодаря этому топливная база для ядерной энергетики значительно увеличивается, ведь теперь можно использовать в качестве топлива отработанное ядерное топливо от реакторов на тепловых нейтронах. Кроме этого, эти реакторы избавляются от самых активных и долгоживущих изотопов.

Если сравнить безопасность двух типов реакторов, то реактор на быстрых нейтронах безопаснее:

- отсутствует высокое давление в реакторе;
- отсутствует риск потери теплоносителя;
- отсутствует риск парациркониевой реакции (причина взрыва на Фукусимской АЭС)

Самое главное преимущество реактора на быстрых нейтронах – способность производить топливо для реакторов на тепловых нейтронах.

Реакторы на быстрых нейтронах еще называют бридерами, так как они способны сгенерировать больше топлива, чем потребляют (от англ. breeder – размножитель).

Уран-238 в активной зоне ядерного реактора превращается в плутоний-239, который является эффективным ядерным топливом.

Облучая уран-238 в реакторе на быстрых нейтронах и химическим способом выделяя чистый плутоний - можно изготовить топливо для реакторов на тепловых нейтронах.

В реакторах на быстрых нейтронах необходима высокая удельная плотность

делящегося вещества в активной зоне по сравнению с реакторами на тепловых нейтронах. Это вынуждает внедрять отражатели нейтронов и высокоплотное топливо, увеличивающие стоимость строительства и эксплуатации.

Радиационные нагрузки на конструкционные материалы намного выше, чем в реакторах на тепловых нейтронах [3].

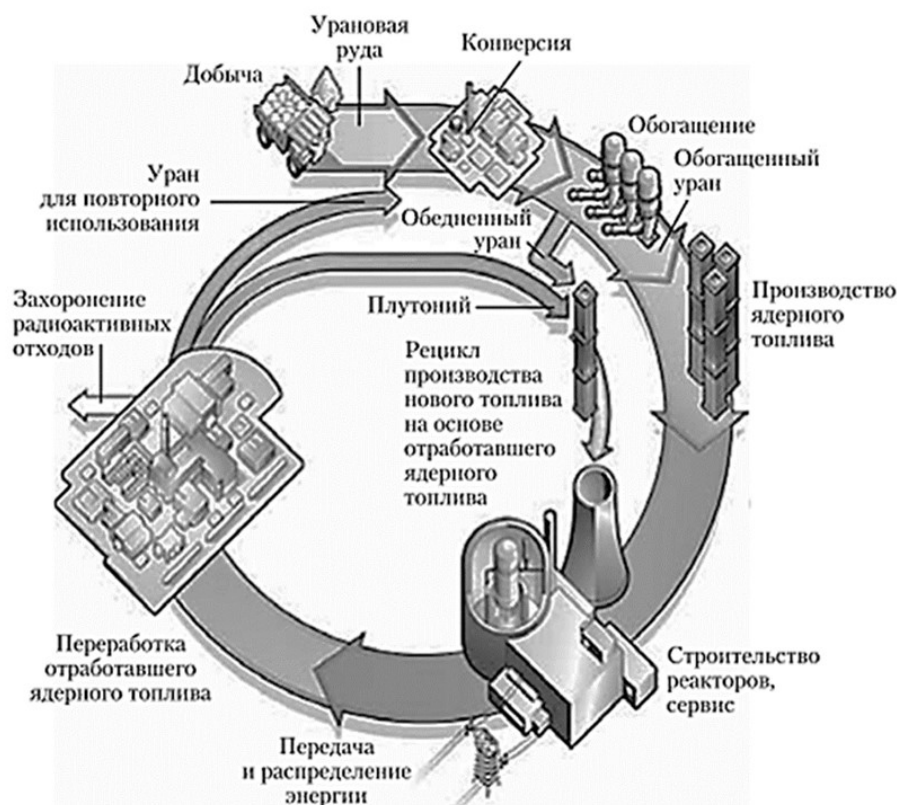


Рис. 1. Замкнутый топливный цикл

Поэтому, для получения большого количества энергии, нанося при этом наименьший урон окружающей среде, необходимо комбинировать реакторы на тепловых и быстрых нейтронах. Это позволит значительно расширить топливную базу, создав при этом замкнутый топливный цикл (представлен на рисунке 1), а также уменьшить объемы радиоактивных отходов.

Реакторы на быстрых нейтронах используют МОХ-топливо (англ. Mixed-Oxide fuel) — ядерное топливо, содержащее несколько видов оксидов делящихся материалов. В основном термин применяется для смеси оксидов плутония и природного урана, обогащенного урана или обедненного урана, которая ведёт себя в смысле течения цепной реакции сходно (хотя и не идентично) с оксидом низкообогащенного урана. МОХ редко может применяться как дополнительное

топливо для реакторов на тепловых нейтронах. Однако более эффективное использование МОХ-топлива — сжигание в реакторах на быстрых нейтронах.

Использование МОКС-топлива позволяет переработать отработанное «горючее» и изготовить новое смешанное уран-плутониевое топливо, в котором количество энергии, которое можно получить от природного урана, увеличивается примерно в 100 раз. При этом, после переработки ОЯТ, количество радиоактивных отходов, подлежащих специальной обработке и захоронению, уменьшается кратно (схема производства и утилизации представлена на рисунке 2). Реакторы на быстрых нейтронах способны «дожигать» долгоживущие (с периодом распада до тысяч и сотен тысяч лет) радиоактивные продукты деления, превращая их в короткоживущие с периодом полураспада

в 200—300 лет, после чего они могут быть надёжно захоронены с соблюдением стандартных процедур и не нарушат природный радиационный баланс Земли.

По данным Всемирной ядерной ассоциации, за всю историю в коммерческих реакторах использовано свыше 2 тысяч тонн МОХ-топлива, однако в мире на складах накоплено 1,6 миллиона тонн обедненного урана. Только на этих запасах, без учета

отработавшего ядерного топлива, реакторы на быстрых нейтронах позволяют обеспечить текущий уровень мирового потребления энергии на 326 лет [4].

В сентябре 2016 года российские атомщики успешно протестировали на полной мощности новый и самый мощный в мире энергоблок с реактором на быстрых нейтронах — БН-800 Белоярской АЭС.

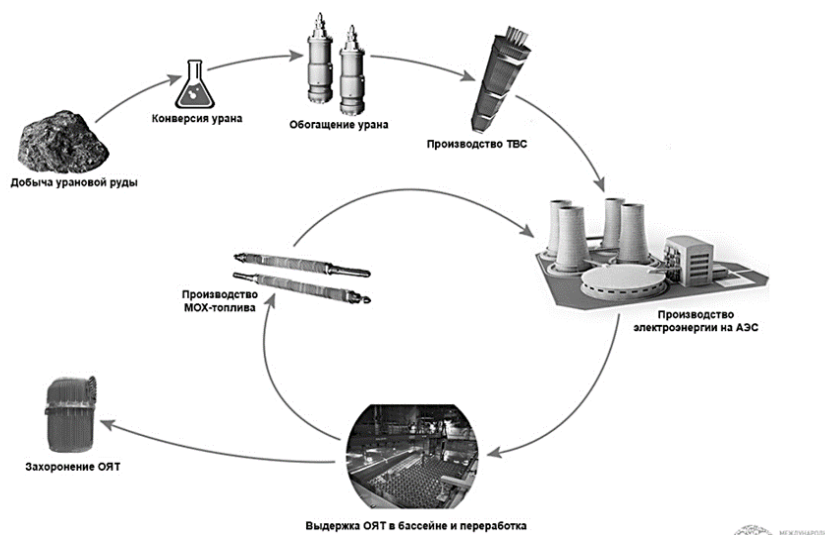


Рис. 2. Схема производства и утилизации топлива для АЭС

3. Заключение

Современные реакторы на тепловых нейтронах хотя проще и дешевле в создании, но они не эффективны и не экологичны (из-за своих радиоактивных отходов).

Реакторы на быстрых нейтронах дороже в создании и обслуживании из-за сложностей их конструкции, однако они безопаснее и способны больше производить энергии.

Реакторы на быстрых нейтронах способны решить экологические проблемы, связанные с отработанным ядерным топливом от реакторов

на тепловых нейтронах. При этом реакторы на быстрых нейтронах (бридеры) способны «сгенерировать» топливо для реакторов на тепловых нейтронах, что создаст замкнутый топливный цикл, который обеспечит получением энергии для человечества на несколько сотен лет.

Мы убеждены, что использование реакторов на быстрых нейтронах позволит полностью исключить ТЭЦ и отходы отработанного ядерного топлива от реакторов на тепловых нейтронах.

Список литературы

1. Экология здоровья и уюта. Экологически чистый дом. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vpered.ru/archives/250>
2. Алхимик – новости и советы. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://alhimik.ru/read/atom.html>
3. Реактор на быстрых нейтронах. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ne/ne5.htm>
4. Шоркин Р.А. Ядерные энергетические реакторы [Электронный ресурс]. – http://nuclphys.sinp.msu.ru/students/nphm/04_tt.htm

References

1. Ecology of health and comfort. Environmentally friendly home. Informational portal. [Electronic resource]. - Access mode: <http://vpered.ru/archives/250>
2. Alchemist - news and advice. Informational portal. [Electronic resource]. - Access mode: <http://alhimik.ru/read/atom.html>
3. Fast neutron reactor. Informational portal. [Electronic resource]. - Access mode: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ne/ne5.htm>
4. Shorkin R.A. Nuclear power reactors [Electronic resource]. - http://nuclphys.sinp.msu.ru/students/nphm/04_tt.htm

ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАДЗОРА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

А.Р. Герасимов¹, Г.А. Сигора², Л.А. Ничкова³

^{1,2,3} ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru, sonik--38@mail.ru

Аннотация

Целью данной научной статьи является изучение государственного экологического надзора. Были рассмотрены виды и основная задача государственного экологического надзора. Важность плановых и внеплановых проверок, помогающих выявить нарушения. Периодичность и полномочия проверок.

Виды нарушений: причинение вреда окружающей среде, причинение вреда имуществу юридических или физических лиц при совершении экологического правонарушения и причинение вреда здоровью физических лиц при совершении экологического правонарушения.

Проверки проводят государственные инспекторы в области охраны окружающей среды, которые наделены определенными полномочиями. Также описаны действия инспектора при выявлении нарушения.

Согласно Статье 65 Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» выделяют два вида экологического надзора: Федеральный государственный экологический надзор, Региональный государственный экологический надзор. Также были перечислены различные виды государственного экологического надзора. Была описана организация федерального экологического надзора.

Рассмотрены обязательные профилактические мероприятия в целях профилактики нарушений: правовое просвещение, правовое информирование, обобщение практики осуществления государственного контроля (надзора).

Выявлена проблема отсутствия законодательного механизма по обязательному экологическому страхованию, экологическому аудиту, нормированию качества окружающей среды, внедрению наилучших технологий.

Ключевые слова: надзор, охрана окружающей среды, проверки, инспектор, вред, природопользование.

ORGANIZATION OF AN ENVIRONMENTAL SUPERVISION SERVICE AT ENTERPRISES THE CITY OF SEVASTOPOL

A.R. Gerasimov¹, G.A. Sigora², L.A. Nichkova³

¹ Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation,
e-mail: tamara_homenko93@mail.ru, sonik--38@mail.ru

Abstract

The purpose of this scientific article is to study the state environmental supervision. The types and the main task of state environmental supervision were considered. The importance of scheduled and unscheduled inspections to help identify violations. Frequency and authority of inspections.

Types of violations: causing harm to the environment, causing damage to the property of legal entities or individuals when committing an environmental offense and causing harm to the health of individuals when committing an environmental offense.

The inspections are carried out by state inspectors in the field of environmental protection, who are endowed with certain powers. The actions of the inspector when detecting a violation are also described.

According to Article 65 of the Federal Law of 10.01.2002 N 7-FZ "On Environmental Protection" there are two types of environmental supervision: Federal State Environmental Supervision, Regional State Environmental Supervision. Various types of state environmental supervision were also listed. The organization of federal environmental oversight was described.

Obligatory preventive measures for the prevention of violations are considered: legal education, legal information, generalization of the practice of state control (supervision).

The problem of the lack of a legislative mechanism for compulsory environmental insurance, environmental audit, regulation of the quality of the environment, and the introduction of the best technologies has been identified.

Keywords: supervision, environmental protection, inspections, inspector, harm, nature management.

1. Введение

Государственный экологический надзор осуществляется уполномоченными государственными органами, которые контролируют соблюдение экологических требований юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями. Надзор осуществляется на 2 уровнях: федеральном и региональном. Федеральный государственный экологический надзор осуществляет Федеральная служба в сфере природопользования - Росприроднадзор.

Служба проверяет исполнение экологического законодательства в отношении объектов, перечень которых утвержден Правительством РФ. Это объекты, которые обеспечивают обороноспособность и безопасность государства, государственные энергетические системы, охраняемые природные территории. Региональный государственный экологический надзор производят территориальные подразделения Росприроднадзора и исполнительные органы субъекта РФ. [1].

Правительство субъекта самостоятельно формирует орган, который осуществляет региональный государственный экологический надзор. Координацией деятельности федеральных и региональных подразделений Росприроднадзора занимается Управление государственного экологического надзора - структурное подразделение Федеральной службы по надзору в сфере природопользования.

2. Основной материал

Главные задачи, которые возложены на Управление:

- Следить за исполнением законодательства и соблюдением требований в области охраны окружающей среды, а также обеспечением экологической безопасности.
- Участвовать в реализации и формировании государственной политики в сфере охраны окружающей среды.
- Принимать участие в разработке нормативных актов и методических документов, на основании которых осуществляется государственный экологический надзор.

Разрабатывать предложения по совершенствованию государственного надзора за исполнением законодательных актов РФ в области природопользования и охраны окружающей среды.

Структура Управления включает в себя следующие отделы:

- отдел надзора в области охраны окружающей среды и атмосферного воздуха;
- отдел надзора и регулирования в области обращения с отходами;
- отдел надзора за водными ресурсами и морского надзора;
- отдел методического обеспечения и регулирования надзорной деятельности;
- отдел разрешительной деятельности в области обращения с отходами.

Виды экологического надзора:

- земельный надзор;
- надзор за геологическим изучением, рациональным использованием и охраной недр;
- надзор за обращением с отходами;
- надзор в области охраны атмосферного воздуха;
- надзор в области охраны водных объектов;
- экологический надзор на континентальном шельфе РФ;
- экологический надзор во внутренних морских водах и в территориальном море РФ;

Основная задача государственного экологического надзора — это профилактика, выявление и пресечение правонарушений в области экологии, а именно: незаконное использование природных ресурсов либо негативное воздействие на окружающую среду. [2].

Государственный экологический надзор осуществляется в форме плановых и внеплановых проверок.

Плановые проверки проходят по заранее утвержденному графику. Периодичность их проведения – раз в 3 года. Региональное управление Росприроднадзора в конце каждого года формирует план проведения проверок и согласовывает его с прокуратурой. Затем сведения направляются в Генеральную прокуратуру, где составляется сводный план. Ежегодный план проведения проверок и результаты их проведения размещаются на официальном сайте Росприроднадзора.

Внеплановые проверки производят, когда есть для этого основания, например, получена информация о нарушении экологического законодательства, или для того, чтобы проверить, как выполняются предписания, вынесенные при плановой проверке.

Проверки проводят государственные инспекторы в области охраны окружающей среды, которые наделены определенными полномочиями, а именно:

1. Посещение организаций и предприятий для проведения проверок исполнения требований законодательства в области экологии.

2. Проверка соблюдения нормативных документов в области охраны окружающей среды, выполнения мероприятий и планов по охране окружающей среды, утвержденных хозяйствующим субъектом.

3. Выдача предписаний юридическим и физическим лицам об устранении выявленных нарушений законодательства в области охраны окружающей среды и нарушений природоохранных требований.

4. Составление протоколов при выявлении нарушений.

5. Привлечение к административной ответственности виновных в нарушениях.

6. Предъявление исков о возмещении вреда, нанесенного окружающей среде.

Инспектор привлекает хозяйствующего субъекта к ответственности в случае выявления следующих нарушений:

- Причинение вреда окружающей среде;
- Причинение вреда имуществу юридических или физических лиц при совершении экологического правонарушения;

При выявлении нарушений инспектор сначала устанавливает сам факт причинения ущерба или вреда, а также вину субъекта в этом правонарушении и причинно-следственные связи. Далее определяется размер причиненного ущерба или вреда. Как правило, за нарушение экологического законодательства должностные лица или руководитель организации привлекаются к административной ответственности и на них налагается штраф, либо оформляется предписание с требованием устранить выявленные нарушения.

- Причинение вреда здоровью физических лиц при совершении экологического правонарушения.

Виды государственного экологического надзора

- земельный надзор;
- надзор за геологическим изучением, рациональным использованием и охраной недр;
- надзор за обращением с отходами;
- надзор в области охраны атмосферного воздуха;
- надзор в области охраны водных объектов;
- экологический надзор на континентальном шельфе РФ;

- экологический надзор во внутренних морских водах и в территориальном море РФ;

- надзор в области охраны и использования особо охраняемых природных территорий

- надзор в области охраны озера Байкал;
- федеральный лесной надзор;
- экологический надзор в особой экономической зоне РФ;

- надзор в области охраны, воспроизводства и использования объектов животного мира и среды их обитания;

- надзор в области рыболовства и сохранения водных биоресурсов;

- федеральный охотничий надзор.

Согласно Статье 65 Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» выделяют два вида экологического надзора:

- Федеральный государственный экологический надзор;

- Региональный государственный экологический надзор.

Для определения организации к тому или иному государственному надзору Минприроды России был утвержден приказ, в котором указан перечень организаций, подлежащих федеральному экологическому надзору. Не входящие в данный список предприятия подлежат региональному экологическому надзору. [3].

Соответственно федеральные предприятия подают экологическую отчетность в Росприроднадзор, региональные — в соответствующий орган исполнительной власти Крым.

Государственный экологический надзор включает в себя:

1. государственный надзор за геологическим изучением, рациональным использованием и охраной недр;

2. государственный земельный надзор;

3. государственный надзор в области обращения с отходами;

4. государственный надзор в области охраны атмосферного воздуха;

5. государственный надзор в области использования и охраны водных объектов;

6. государственный экологический надзор на континентальном шельфе Российской Федерации;

7. государственный экологический надзор во внутренних морских водах и в территориальном море Российской Федерации;

8. государственный экологический надзор в исключительной экономической зоне Российской Федерации;

9. государственный экологический надзор в области охраны озера Байкал;

10. федеральный государственный лесной надзор (лесную охрану);

11. федеральный государственный надзор в области охраны, воспроизводства и использования объектов животного мира и среды их обитания;

12. федеральный государственный контроль (надзор) в области рыболовства и сохранения водных биоресурсов;

13. федеральный государственный охотничий надзор;

14. государственный надзор в области охраны и использования особо охраняемых природных территорий;

15. государственный надзор за соблюдением требований к обращению озоноразрушающих веществ. [4].

Федеральный экологический надзор

Организации, подлежащие федеральному экологическому надзору на территории Крым, должны подавать экологическую отчетность в

Межрегиональное управление Южное Межрегиональное управление Росприроднадзора.

Расположение постов мониторинга загрязнения атмосферы и метеостанций в городах Республики Крым представлено на рисунке 1.

Южное Межрегиональное управление Росприроднадзора по Краснодарскому краю и Республике Адыгея

Южное межрегиональное управление Росприроднадзора является территориальным органом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования межрегионального уровня на территории Краснодарского края, Республики Адыгея, Республики Крым и города Севастополя.

Приказ Росприроднадзора от 27.08.2019 N 476 "Об утверждении Положения о Южном межрегиональном управлении Федеральной службы по надзору в сфере природопользования".

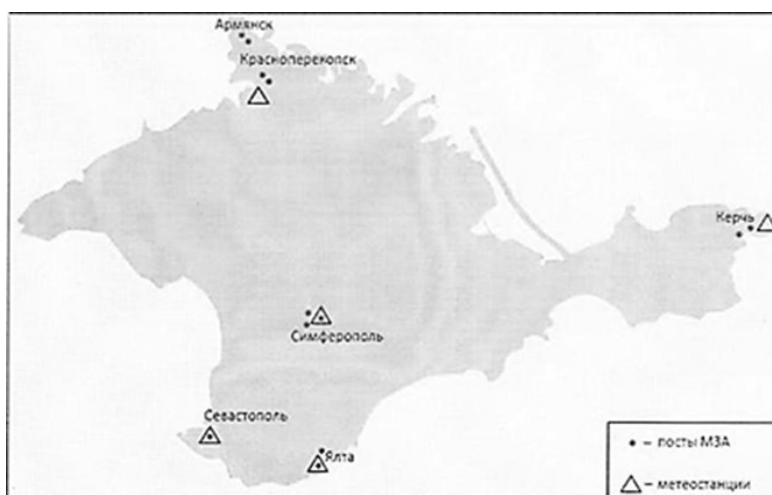


Рис. 1. Расположение постов мониторинга загрязнения атмосферы и метеостанций в городах Республики Крым

Мероприятия по улучшению

Экологический контроль (надзор) как важнейшая правовая мера обеспечения рационального природопользования и охраны окружающей среды выполняет ряд функций - предупредительную, информационную и карательную.

Однако на сегодняшний день предупредительной функции экологического контроля (надзора) не отводится должного внимания, суть которой заключается в том, что субъекты экологического контроля (надзора), зная о возможной проверке исполнения ими правовых экологических требований, самостоятельно проявляли активность в исполнении требований законодательства и предупреждении нарушений. Ведь усиление

превентивной функции экологического контроля (надзора) позволило бы предотвращать экологические правонарушения. В целях профилактики нарушений обязательных требований применяются следующие профилактические мероприятия:

а) правовое просвещение;

б) правовое информирование;

в) обобщение практики осуществления государственного контроля (надзора).

Правовое просвещение - распространение знаний о правах и обязанностях граждан, юридических лиц и индивидуальных предпринимателей в области обеспечения комплексной безопасности, способах

реализации (выполнения) установленных обязательных требований.

Правовое просвещение осуществляется в виде размещения на официальном сайте Ростехнадзора в сети "Интернет" перечней нормативных правовых актов (и их частей), содержащих обязательные требования, либо перечней самих требований, оценка соблюдения которых является предметом контроля (надзора).

Правовое информирование - деятельность, направленная на доведение до подконтрольных субъектов информации, касающейся обеспечения комплексной безопасности, по вопросам соблюдения обязательных требований посредством имеющихся доступных способов. [5].

Систематически и централизованно осуществляются мероприятия в рамках профилактики нарушений обязательных требований:

- обобщение и анализ правоприменительной практики;
- актуализация и размещение перечня типовых нарушений обязательных требований;
- актуализация и размещение на официальном сайте Ростехнадзора перечня нормативных правовых актов, содержащие обязательные требования;
- консультирование поднадзорных субъектов и иных заинтересованных лиц по вопросам соблюдения обязательных требований;
- участие в публичных мероприятиях.

Список литературы

1. Березовский В.А. Биофизические характеристики тканей человека / Березовский В.А., Колотило Н.Н. // Киев: Наукова думка. – 1990. – 224 с.
2. Юдина Е.Я. Борьба с шумом на производстве: Справочник / Е.Я. Юдина. // М.: Машиностроение. – 1985. – 400 с.
3. Голубничий, А.А. Анализ шумового загрязнения от линейных источников эмпирическим и расчетным методом [Текст] / А.А. Голубничий, А.В. Шимкив, В.Р. Сайфуллин // Международный научный журнал «Инновационная наука». - 2015. - 26 - 28с.
4. Измеров Н.Ф. Человек и шум / Н.Ф. Измеров, Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко // М.: ГЭОТАР-МЕД. - 2001. – 384 с.
5. Тупов В.Б. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду / В.Б. Тупов // М.: Издательство МЭИ. - 2012. – 112 с.

References

1. Berezovsky V.A. Biophysical characteristics of human tissues / Berezovsky V.A., Kolotilov N.N. // Kiev: Naukova Dumka. - 1990. -- 224 p.
2. Yudina E.Ya. Noise control in production: Handbook / E.Ya. Yudin. // M.: Mechanical engineering. - 1985. -- 400 p.
3. Golubnichy, A.A. Analysis of noise pollution from linear sources by empirical and calculation method [Text] / A.A. Golubnichy, A.V. Shimkiv, V.R. Sayfullin // International scientific journal "Innovation Science". - 2015. -- 26 - 28p.
4. Izmerov N.F. Man and noise / N.F. Izmerov, G.A. Suvorov, L.V. Prokopenko // M.: GEOTAR-MED. - 2001. -- 384 p.
5. Tupov VB Factors of the physical impact of TPPs on the environment / V.B. Tupov // Moscow: MEI Publishing House. - 2012. -- 112 p.

3. Заключение

Эффективность механизма экологического контроля (надзора) обеспечивается только через взаимодействие с иными природоохранными инструментами, такими как экологическая экспертиза, плата за негативное воздействие на окружающую среду, учет объектов хозяйственной и иной деятельности, экологический мониторинг, экологическое нормирование, юридическая ответственность за совершение экологических правонарушений, возмещение вреда, причиненного окружающей среде, и др.

Представляется, что именно такой широкий подход к пониманию экологического контроля (надзора) должен быть положен в основу современного экологического законодательства в России, который пока не нашел в законодательстве должного воплощения.

На сегодняшний день отсутствуют законодательные механизмы по обязательному экологическому страхованию, экологическому аудиту, нормированию качества окружающей среды, внедрению наилучших доступных технологий, поэтапному сокращению воздействия на окружающую среду, что не позволяет обязать природопользователей уделять больше внимания решению экологических проблем и делает государственный надзор менее действенным.

УДК 504.03

ВЛИЯНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ УЛИЦ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ АВТОТРАНСПОРТОМ НА КАЧЕСТВО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Лысак А. А.¹ магистрант Сигора Г. А.² канд. биол. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299002, РФ,
angelina.lysak.1998@mail.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 99053, РФ,
sigora1@yandex.ru

Аннотация

Статья выполнена на тему «Влияние загруженности улиц города Севастополя автотранспортом и меры по снижению его влияния». В статье описано влияние загруженности улиц города Севастополя на атмосферу, гидросферу, литосферу, фитоценоз, а также влияние шума, вибрации и электро-магнитного излучения на окружающую среду, а также рассматривается характеристика транспортных потоков города Севастополя и произведена оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха-отработанными газами автотранспорта по концентрации СО. Цель работы – выявить факторы, влияющие на загрязнение окружающей среды автотранспортом, определить загруженность улиц города Севастополя и предложить меры по снижению загрязненности атмосферы города.

Статья состоит из шести разделов, заключения, списка литературы. Первый раздел – введение. Во втором разделе описано влияние шума, вибрации и электромагнитного излучения на окружающую среду. В третьем разделе рассматривается загрязнение атмосферы выбросами вредных веществ автотранспортом. Четвертый раздел посвящен загрязнению почвы и растений выбросами вредных веществ автотранспортом. В пятом разделе статьи рассмотрено загрязнение вод выбросами вредных веществ автотранспортом. В шестом разделе рассматриваются характеристика транспортных потоков г. Севастополя и меры по снижению загрязненности окружающей среды города Севастополя. В заключении подведены итоги работы, представлены наиболее значимые выводы и предложения.

Ключевые слова: транспортная система, окружающая среда, вредные вещества, тяжелые металлы, атмосфера, автотранспорт, выхлопные газы, шум, вибрация, электромагнитное излучение.

INFLUENCE OF TRAFFIC CONGESTION ON THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT IN THE CITY OF SEVASTOPOL

Lysak A. A.¹ master's student, Sigora G. A.² Associate Professor

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 299002, Russian Federation, angelina.lysak.1998@mail.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 99053, Russian Federation, sigora1@yandex.ru

Abstract

The article is devoted to the topic "The impact of traffic congestion in the city of Sevastopol and measures to reduce its impact". The article describes the impact of traffic congestion in the city of Sevastopol on the atmosphere, hydrosphere, lithosphere, phytocenosis, as well as the impact of noise, vibration and electromagnetic radiation on the environment, as well as the characteristics of traffic flows in the city of Sevastopol and the assessment of the level of atmospheric air pollution-by exhaust gases of vehicles according to the CO concentration. The purpose of the work is to identify the factors that affect the pollution of the environment by vehicles, to determine the congestion of the streets of the city of Sevastopol and to propose measures to reduce the pollution of the city's atmosphere.

The article consists of six sections, a conclusion, and a list of references. The first section is an introduction. The second section describes the effects of noise, vibration, and electromagnetic radiation on the environment. The third case deals with the pollution of the atmosphere by emissions of harmful substances by motor vehicles. The fourth time is devoted to the pollution of soil and plants by emissions of harmful substances by motor transport. In the fifth section of the article, water pollution by emissions of harmful substances by motor transport is considered. In the sixth section, the characteristics of the traffic flows of the city are considered. Sevastopol and measures to reduce environmental pollution in the city of Sevastopol. In conclusion, the results of the work are summarized, the most significant conclusions and proposals are presented. In conclusion, the results of the work are summarized, the most significant conclusions and proposals are presented.

Keywords: transport system, environment, harmful substances, heavy metals, atmosphere, vehicles, exhaust gases, noise, vibration, electromagnetic radiation.

Введение

Автотранспорт является одним из ведущих источников загрязнения окружающей среды. Сжигание большого объема нефтепродуктов, осуществляемое автомобилями, приводит к снижению количества кислорода в воздухе и его загрязнению отработанными компонентами газов.

При сгорании различных элементов возникают продукты, попадающие в атмосферу. К их количеству возможно причислить соответствующие вещества: оксид углерода; углеводороды; двуокись серы; соединение азота; свинцовые соединения; серная кислота. Выпускные газы автомобилей включают небезопасные вещества – канцерогены, содействующие развитию онкологических болезней людей. Все, без исключения, выделяемое автотранспортом, владеет значительной токсичностью.

Из-за проникновения выхлопных газов в атмосферу, увеличивается ее плотность также формируется парниковый эффект. Поверхность земного шара разогревается солнечным теплом, которое затем никак не способно возвратиться в космическое пространство. Из-за данной трудности увеличивается уровень мирового океана, что вызывает таяние ледников, страдает растительность и животный мир Земли.

В курортных городах одной из центральных проблем загрязнения воздуха является загруженность улиц автотранспортом. Это связано с повышением уровня жизни населения, что приводит к увеличению количества индивидуального транспорта, а также увеличение количества машин в летний туристический сезон. В следствии это приводит к росту автомобильного потока, заторам и пробкам, а как известно, при равномерном движении машины, выброс вредных веществ меньше в несколько раз, нежели при частых остановках и стартах, что свойственно движению в пробках.

Исходя из вышесказанного, целью данной статьи является: выявить факторы, влияющие на загрязнение окружающей среды автотранспортом, рассмотреть загруженность улиц города Севастополя и предложить меры по снижению загрязненности атмосферы города.

Основная часть

1. Влияние шума, вибрации и электромагнитного излучения на окружающую среду

Основным источником шума в городах является транспорт, и его шумовое воздействие постоянно растет. Транспортный комплекс сохраняет лидирующее положение в шумовом воздействии на окружающую среду и население [1].

При движении автомобиля возникают колебания, обусловленные неуравновешенными силовыми воздействиями в узлах и агрегатах автомобиля, а также внешним переменным воздействием от неровностей дорожного покрытия. Эти колебания передаются на кузов автомобиля и через дорожное покрытие и грунт - на элементы придорожного пространства.

Основной источник электромагнитных излучений - система зажигания автомобиля и, в первую очередь, свечи, распределитель, высоковольтные провода [2].

Автотранспорт негативно влияет на окружающую среду за счет шума, вибраций и электромагнитного излучения.

Акцент сделан на выбросах вредных веществ и существует ряд факторов, влияющих на их количество:

Ряд факторов:

- интенсивность транспортного потока;
- скорость транспортного потока;
- состав транспортного потока;
- тип двигателя;
- тип и качество дорожного покрытия;
- планировочные решения территорий;
- наличие зеленых насаждений [3].

2. Загрязнение атмосферы выбросами вредных веществ автотранспортом

Автомобильный транспорт считается одним из ключевых загрязнителей атмосферного воздуха в населенных пунктах.

Главными причинами активного загрязнения атмосферного воздуха выбросами от автомобильного транспорта считаются:

- постоянно растущее число автомобильного транспорта;
- эксплуатация технически устаревшего автопарка;
- низкое качество горюче-смазочных используемых материалов;
- недостаточная пропускная способность дорожно-автотранспортной сети, которая сложилась в условиях имеющейся застройки;
- неудовлетворительная ситуация с качеством дорожного покрытия проезжей части дорог;
- несовершенство законодательной базы для результативного управления и контроля

автомобильного транспорта, что считается экологически небезопасным объектом [4].

Максимальную часть химического загрязнения атмосферы автотранспортом занимают отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания.

Максимальное число токсичных веществ попадает в воздушное пространство в то время, когда машины работают на холостом ходу во время пребывания на остановках общественного автотранспорта, в пробках, на перекрестках, также перед светофорами.

3. Загрязнение почвы и растений выбросами вредных веществ автотранспортом

Загрязнение почв совмещено с загрязнением атмосферы и воды. В почву поступают разнообразные твердые и жидкие отходы промышленного производства, аграрного хозяйства и коммунально-бытовых компаний. Главными загрязняющими почву элементами считаются металлы и их соединения, радиоактивные элементы, удобрения и пестициды.

При работе двигателей внутреннего сгорания усиленно выделяются оксиды азота, свинец, углеводороды и прочие элементы, оседающие на поверхности грунта или поглощаемые растениями. Хотелось бы отметить, что не все тяжелые металлы токсичны, такие как цинк, кобальт, железо, медь, молибден, марганец имеют позитивное биологическое значение. Некоторые используются как удобрения в определенных концентрациях, необходимых для живых организмов, называют микроэлементами. Однако такие тяжелые металлы как ртуть, кадмий и свинец несут лишь негативное воздействие [5].

Частицы свинца и серы, выделяемые автотранспортом, накапливаются в крупных количествах в верхних слоях почвы. Отсюда они поступают в растения. По этой причине возле дорог невозможно заготавливать сено, собирать грибы, а также ягоды, пасти скот [6].

Исследование тяжелых металлов (ТМ), которые поступают в растения обладает рядом практических нюансов. Во-первых, растения считаются переходным резервуаром, посредством которого металлы переходят из воды, воздуха и основным способом из грунта в организмы человека также животных, поэтому необходимо создание способов охраны пищевых цепочек от попадания металлов в небезопасных концентрациях. Во-вторых, подтверждено ядовитое действие значительных

доз ТМ для самих растений, что определяет несколько вопросов о взаимодействии растений на их избыток в среде. Третий аспект – это установление способности использования растений в качестве биоиндикаторов загрязненной ТМ сферы [7].

4. Загрязнение вод выбросами вредных веществ автотранспортом

Загрязнение вод заключается в снижении экологической значимости и биосферных функций вследствие попадания в них вредоносных элементов. Автотранспортные отходы оказывают негативное воздействие на качество водоемов, рек, подземных вод. В результате чего изменяются органолептические качества (прозрачность, вкус, окраска, запах) и физические, повышаются содержания нитратов, сульфатов, тяжелых металлов, возникают радиоактивные компоненты, снижается в воде количество растворенного кислорода.

Во время работы автомобильного транспорта выделяются более 400 разновидностей элементов, которые провоцируют загрязнение воды. Если превышен хотя бы один параметр вредности: органолептический, санитарно-токсический либо общесанитарный, вода является грязной.

Выбросы автотранспорта негативно влияют на качество подземных вод, так как атмосферные осадки, которые пополняют подземные воды, проходят через загрязненный воздух и меняют свой состав. Загрязняющие вещества оседают на поверхности земли и просачиваются в подземные воды. Наибольший риск загрязнения выбросами имеют грунтовые воды, которые пребывают близко к поверхности земли.

Изменение химического состава грунтовых вод часто приводит к формированию из агрессивных свойств, вызывающих разрушение подземных частей инженерных сооружений. На территориях, расположенных вблизи автомагистралей, отмечается высокое содержание в грунтовой воде ионов сульфата, а также ионов хлора. Загрязнению грунтовых вод хлоридами способствует использование для таяния снега и борьбы с зимней скользкостью дорожных покрытий поваренной соли [8].

5. Характеристика транспортных потоков г. Севастополя и меры по снижению загрязненности окружающей среды г. Севастополя

В статье рассмотрены результаты расчета согласно ГОСТ 32965–2014

среднегодовой суточной интенсивности движения по 30 улицам города Севастополя и составлена таблица ранжирования – см. таблицу 1. Согласно данным таблицы 1 низкая интенсивность движения наблюдается на улице Богданова и проспекте Генерала Острякова, это пункт 1 и 2.

Таблица 1. Характеристика транспортных потоков г. Севастополя

№	Название	Интенсивность движения транспорта (ед/сут)	Категории транспортных средств			
			A	B	C	D
1	Богданова улица	4 825	4	156	31	45
2	Генерала Острякова проспект	7 418	–	394	70	–
3	Октябрьской Революции проспект	9 613	–	530	38	107
4	Балаклавское шоссе Ялтинское шоссе	10 082	2	1568	6	3
5	Котовского улица	10 916	5	836	8	–
6	Новикова улица	12 401	12	690	32	–
7	Большая Морская улица	15 617	–	862	15	–
8	Гагарина проспект	15 692	5	833	3	–
9	Городское шоссе	16 848	1	1 215	16	5
10	Героев Сталинграда проспект	17 883	–	1 201	6	144

Средняя интенсивность движения наблюдается на улицах начиная с пункта 3 – это проспект Октябрьской Революции, и заканчивая пунктом 14 – это ул. Генерала Мельника.

Высокая интенсивность движения с пункта 15 – ул. Хрусталева, заканчивая пунктом 30 – это ул. Брестская.

У последних пяти улиц интенсивность движения более 40 тыс.(ед/сут).

На основании этого создана карта загруженности улиц города Севастополя автотранспортом. (см. рис. 1).

11	Гоголя улица	18 058	7	1223	13	62
12	Симферопольское шоссе	19 039	–	1 188	99	6
13	Камышовое шоссе	19 255	3	1 021	93	–
14	Генерала Мельника улица	19 717	–	759	36	24
15	Хрусталева улица	21 380	3	1 653	6	2
16	Горнищенко улица	22 137	6	996	30	42
17	Пожарова улица	24 199	1	1 814	3	54
18	Правды улица	24 422	–	1 406	114	–
19	Багрия улица	24 600	–	981	39	–
20	Победы проспект	24 885	6	1 191	27	–
21	Льва Толстого улица	28 524	1	2 239	1	–
22	Сапунгорская улица	30 775	9	1 275	204	18
23	Адмирала Октябрьского улица	37 933	7	1 976	5	–
24	Олега Кошевого улица	39 468	12	1 602	162	30
25	Фиолентовское шоссе	42 145	12	2 328	52	18
26	Вакуленчука улица	42 255	–	1 030	65	–
27	Руднева улица	49 383	30	2 256	84	42
28	Вокзальная улица	51 226	6	2 495	99	51
29	Героев Севастополя улица	53 993	–	2 379	51	69
30	Брестская улица	54 808	–	1 344	24	33



Рис. 1. Загруженность улиц г. Севастополя автотранспортом

Для всех рассмотренных участков движения были сделаны расчёты концентраций оксида углерода в районах этих улиц.

Концентрация СО от 20 до 50 мг/м³: начиная с пункта 1 – Улица Пожарова, заканчивая пунктом 8 – Улица Брестская

Концентрация СО от 5 до 20 мг/м³ на улицах: начиная с пункта 9 – это Улица Гоголя до пункта 28 – это Балаклавское шоссе

Концентрация СО от 1 до 5 мг/м³ на улицах: пункт 29 – Улица Генерала Острякова и пункт 30 – Улица Сапунгорская.

Результаты концентрации СО на карте г. Севастополя (см. рис 2):



Рис. 2. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха по концентрации СО

Основные мероприятия по снижению загрязненности окружающей среды города Севастополя делятся на 3 группы:

1. Градостроительные мероприятия: а) строительство автомагистралей в обход городов и населенных пунктов; б) изоляция зданий от дорог, тротуаров многоярными посадками кустов и деревьев; в) размещение жилых и особенно детских учреждений в глубине кварталов, подальше от дорог; г) сооружений транспортных развязок на разных уровнях, магистралей-дублеров.

2. Организация движения городского транспорта: а) ограничение проезда грузовых

машин по городу; б) организация оптимальной работы светофоров («зеленая волна») и транспортных развязок; в) оптимизация скорости движения машин (при 60 км/час наименьшие загрязнения); г) расширение перевозок пассажиров электротранспортом.

3. Технические мероприятия: а) регулировка двигателей внутреннего сгорания, особенно состава смеси, поступающей в цилиндры; б) снижение, замена и полное исключение свинца в топливе; в) добавление в топливо присадок, снижающих содержание СО, альдегидов, сажи в выхлопных газах; г) замена бензина метанолом, сжатым и сжиженным газом, а еще лучше - водородом; д) нейтрализация (обезвреживание) выхлопных газов; е) фильтрация выхлопных газов дизелей от сажи; ж) замена обычных автомобилей электромобилями.

Заключение

На основании проведенных исследований по данной теме были выделены основные пути решения проблем, связанных с работой транспортной системы городов. Для снижения загрязненности окружающей среды города Севастополя, вызванной средней и высокой загруженностью улиц города автотранспортом необходимо применять меры в комплексе, в который входят градостроительные мероприятия, технические мероприятия, а также организация движения городского транспорта, а также в приоритете выбора двигателей должны быть малотоксичные (газотурбинные, роторные и гибридные) и нетоксичные (инерционные) двигатели

Список литературы

1. Вибрации [Электронный ресурс]. URL: <https://studfile.net/preview/8070431/page:3/> (дата обращения 24.03.2020).
2. Электромагнитные излучения [Электронный ресурс]. URL: https://m.studref.com/465638/ekologiya/elektromagnitnye_izlucheniya (дата обращения 8.04.2020).
3. Шумовое воздействие автомобильного транспорта [Электронный ресурс]. URL: <https://studizba.com/lectures/105-jekologija/1368-transportnaja-jekologija/25179-6-shumovoe-vozdjeystvie-avtomobilnogo-transporta.html> (дата обращения 19.03.2020).
4. Савчук В.В. Автотранспорт и его роль в загрязнении атмосферы и влияния на здоровье человека /В.В. Савчук// Физическая культура и спорт в современном мире: проблемы и решения: сб. статей. – Комсомольск-на-Амуре, 2018. - С. 94-98.
5. . Двигатель внутреннего сгорания [Электронный ресурс]. URL: <https://www.exist.ru/document/articles/1316> (дата обращения 8.05.2020).

6. Влияние вредных веществ на организм [Электронный ресурс]. URL: <http://www.newecologist.ru/ecologs-5089-1.html> (дата обращения 15.05.2020).
7. Минкина, Т.М. Накопление и распределение тяжелых металлов в растениях зоны техногенеза / Т.М. Минкиной, Г.В. Мотузовой, Н.Н. Мирошниченко, А.И. Фатеевым, С.С. Манджиевой, В.А. Чаплыгиной // Агрохимия. – 2013. - №9. – С. 65-75.
8. Туякова А.К. Роль автотранспортного комплекса в загрязнении внешних оболочек земли / А.К. Туякова, О.В. Тю-менцева // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: сб. статей. – Омск, 2012. – С. 20-23.
9. Никифоров В.А. Автотранспорт и его влияние на окружающую среду / В.А. Никифорова., Д.Д. Видищева., Н.А. По-дойницына., В.С. Глеба. // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2017. - Т. 1. - С. 192-194.
10. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Санкт-Петербург: ПИЯФ РАН, 2008. – 217 с.

References

1. Vibration [Electronic resource]. URL: <https://studfile.net/preview/8070431/page:3/> (accessed 24.03.2020).
2. Electromagnetic radiation [Electronic resource]. URL: https://m.studref.com/465638/ekologiya/elektromagnitnye_izlucheniya (accessed 8.04.2020).
3. Noise impact of road transport [Electronic resource]. URL: <https://studizba.com/lectures/105-jekologija/1368-transportnaja-jekologija/25179-6-shumovoe-vozdrejstvie-avtomobilnogo-transporta.html> (date of issue 19.03.2020).
4. Savchuk V. V. Motor transport and its role in atmospheric pollution and its impact on human health /V. V. Savchuk// Physical culture and sport in the modern world: problems and solutions: collection of articles. - Komso-molsk-na-Amure, 2018. - p. 94-98.
5. Internal combustion engine [Electronic resource]. URL: <https://www.exist.ru/document/articles/1316> (accessed 8.05.2020).
6. The effect of harmful substances on the body [Electronic resource]. URL: <http://www.newecologist.ru/ecologs-5089-1.html> (accessed 15.05.2020).
7. Minkina, T. M. Accumulation and distribution of heavy metals in plants of the technogenesis zone / T. M. Minkina, G. V. Motuzova, N. N. Miroshnichenko, A. I. Fateev, S. S. Mandzhieva, V. A. Chaplygina // Agro-chemistry. - 2013. - No. 9. - pp. 65-75.
8. Tuyakova A. K. The role of the motor transport complex in the pollution of the outer shells of the earth / A. K. Tuyakova, O. V. Tyumentseva // Development of the road transport complex and construction infrastructure on the basis of rational nature management: collection of articles. - Omsk, 2012. - p. 20-23.
9. Nikiforov V. A. Motor transport and its impact on the environment / V. A. Nikiforova., D. D. Vidishcheva., N. A. Po-doynitsyna., V. S. Gleba. // Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences. - 2017. - Vol. 1. - p. 192-194
10. Alekseev, Yu. V. Heavy metals in the agricultural landscape / St. Petersburg: PIYAF RAS, 2008. - 217 p.

УДК 504.064

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОТДАЛЁННЫХ ОТ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАЙОНОВ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ РЕГИОНОВ

Д. А. Макеева¹ канд. тех. наук, Д. А. Козырь² канд. тех. наук

¹ ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ул. Артёма, 58, г. Донецк, ДНР, 83001,
e-mail: daria.makejeva@mail.ru

² ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», ул. Артёма, 58, г. Донецк, ДНР, 83001,
e-mail: kozurdmirii@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается одна из проблем отдалённых от инфраструктуры районов горнодобывающих регионов, где уже нет активного функционирования градообразующих предприятий. Проблема выражается в отсутствии контроля за состоянием породных отвалов и продолжающимися выбросами, а также в перебоях в электроснабжении этих районов, связанных с ненадёжностью системы и отсутствием резервных источников электроснабжения. Предметом данного исследования является контроль состояния и повышение уровня экологической безопасности удаленных от инфраструктуры урбоэкосистем с породными отвалами. В статье приводится расчет рассеивания загрязняющих веществ породного отвала для оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами горящего породного отвала.

Своевременный мониторинг с помощью дистанционных методов позволит выполнять мероприятия по предотвращению самовозгорания очагов на породном отвале и снизит выбросы в атмосферный воздух, что улучшит экологическую обстановку в горнопромышленных агломерациях. В отдалённых от инфраструктуры районах Донбасса при невозможности ликвидации и полной рекультивации отвалов, перспективным является размещение автономных ветроэнергетических установок (ВЭУ) на породных отвалах горнодобывающих предприятий. Исследования показали, что при минимальных вложениях, использовании морально устаревшей, но работающей техники и минимальной перепланировке отвалов существующих промплощадок не работающих шахт, возможно решать ряд проблем промышленного района: рационально использовать площади породных отвалов, приблизить источник энергии к потребителю, обеспечить энергией районы, отдаленные от инфраструктуры, снизить металлоемкость ветроэнергетических конструкций, повысить надежность системы жизнеобеспечения.

Ключевые слова: экологическая безопасность, породные отвалы, ветрогенератор, мониторинг.

ECOLOGICAL SITUATION OF DISTANT FROM INFRASTRUCTURE AREAS OF COAL-MINING REGIONS

D.A. Makejeva¹ PhD., D. A. Kozyr² PhD

¹ SEI HPE "Donetsk National Technical University", st. Artiom, 58, Donetsk, DPR, 83001,
e-mail: daria.makejeva@mail.ru

² SEI HPE "Donetsk National Technical University", st. Artiom, 58, Donetsk, DPR, 83001,
e-mail: kozurdmittii@mail.ru

Abstract

This article examines one of the problems of mining regions remote from the infrastructure, where there is no more an active functioning of city-forming enterprises. The problem is expressed in the lack of control over the state of waste dumps and ongoing emissions, as well as power outages in these areas associated with the unreliability of the system and the lack of backup power sources. The subject of this study is monitoring the state and increasing the level of environmental safety of urban ecosystems with rock dumps remote from the infrastructure. The article provides a calculation of the dispersion of pollutants in a waste dump for assessing air pollution by emissions from a burning waste dump. Timely monitoring using remote sensing methods will make it possible to take measures to prevent spontaneous combustion of foci on the waste dump and reduce emissions into the air, which will improve the environmental situation in mining agglomerations. In districts of Donbass, remote from the infrastructure, with the impossibility of liquidation and complete reclamation of dumps, it is promising to place autonomous wind power plants on waste dumps of mining enterprises. Studies have shown that with minimal investment, the use of obsolete, but working equipment and minimal redevelopment of dumps of existing industrial sites of non-operating mines, it is possible to solve a number of problems of an industrial region: rationally use the area of waste dumps, bring the energy source closer to the consumer, provide energy to areas remote from infrastructure, reduce the metal consumption of wind power structures, increase the reliability of the life support system.

Keywords: environmental safety, waste dumps, wind generator, monitoring.

Как известно, шахтерские регионы - это зоны с повышенным уровнем экологической опасности, а предприятия угольной промышленности классифицируются как экологически опасные. Одна из проблем отдалённых от инфраструктуры районов горнодобывающих регионов, где уже нет активного функционирования градообразующих предприятий, выражается в отсутствии контроля за состоянием породных отвалов и продолжающимися выбросами, а также в перебоях в электроснабжении этих районов, связанных с ненадёжностью системы и отсутствием резервных источников электроснабжения.

Снижение уровня экологической опасности, вызываемой негативным влиянием породных отвалов на компоненты

окружающей среды на протяжении многих лет находится в центре внимания учёных. Широко известны работы Нечипорука М.В., Зубовой Л.Г., Высоцкого С.П., Зборщика М.П., Зберовского А.В., Осокина В.В., Панова Б.С., Проскурни Ю.А.

Предметом данного исследования является контроль состояния и повышение уровня экологической безопасности удаленных от инфраструктуры урбоэкосистем с породными отвалами.

Для Донецкого региона характерна высокая экологическая нагрузка на биосферу в связи с производственной деятельностью предприятий угольной промышленности, черной металлургии, электроэнергетики, топливной и химической промышленности, сконцентрированных на сравнительно

небольшой территории. Общая масса накопленных отходов превышает 4 млрд. т. Разработка угольных месторождений отрицательно влияет и на гидрохимический режим эксплуатации поверхностных и подземных вод, усиливает загрязнение воздушного пространства, ухудшает плодородие земель. По температурному состоянию породные отвалы делят на горячие и не горячие. Большие объемы угля и углеводородных материалов подвергаются воздействию кислорода, содержащегося в воздухе, под воздействием которого они окисляются и выделяют тепло. Если тепло не рассеивается достаточно быстро, происходит повышение температуры, вследствие чего процесс окисления и производства тепла происходит значительно быстрее и при отсутствии контроля приводит к самопроизвольному возгоранию. В настоящее время актуальным является вопрос повышения комплексности использования не только продукции, но и отходов производства горнодобывающих предприятий. Решению данной проблемы посвящены многие труды как отечественных, так и зарубежных ученых [4, 5, 7, 9, 15].

Региональная экономика выделяет следующие типы проблемных регионов: слаборазвитые (отсталые), депрессивные, зоны экологического бедствия и др.

Депрессивные регионы отличаются от слаборазвитых тем, что они, как правило, раньше были достаточно развитыми, но в условиях научно-технического прогресса и изменений в экономике и промышленности государств начали отставать в своем развитии. Для них характерны низкие показатели социально-экономического развития, технологическая отсталость. Однако, они накопили значительный производственный потенциал и трудовые ресурсы. К категории депрессивных регионов можно отнести старопромышленные, монофункциональные малые и средние города, промышленные узлы, где сосредоточены предприятия горнодобывающей (например, шахтные города Донбасса) и других отраслей промышленности, будущее развитие которых проблематично. Остановка градообразующего предприятия вызывает деградацию подобных населенных пунктов. В Донбассе, в результате завершения работы определённых предприятий и общего экономического кризиса к депрессивным регионам можно отнести большое количество не только отдельных населенных пунктов, но и целых

районов [11]. В таких районах, где градообразующими предприятиями на протяжении долгого времени были шахты, как правило, остались и породные отвалы.

В Донецком регионе 80% всех породных отвалов находится в черте городских агломераций, зачастую они имеют не выдержанную санитарно-защитную зону. (рис.1) Мероприятия по переселению населения жилой застройки, находящейся в санитарно-защитной зоне породных отвалов, не проводятся.

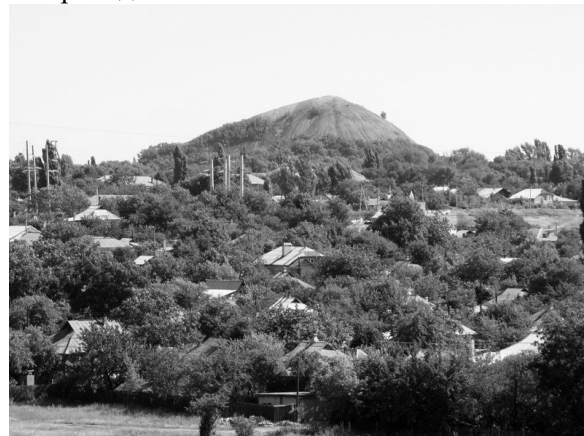


Рис. 1. Жилая застройка в пределах санитарно-защитной зоны породного отвала в г. Донецке.

В настоящее время на территории Донецкой Народной Республики находится более 600 породных отвалов, из них горящих - около 140. Исследования отвальной массы показали, что в отвальной массе 14,4% отвалов содержится более 5% горючих соединений серы (пирит); 26,6% отвалов – 3-5% пирита; 22,3% отвалов – 1,5-3% пирита и в остальных – менее 1,5% пирита.

Содержание влаги в шахтной породе составляет в среднем 1,9%, для отвальной массы обогатительных фабрик - 2,2%. Саранчуком В.И. установлено, что повышение влажности отвальной породы приводит к увеличению её теплопроводности. Зольность отвальной массы шахт составляет в среднем 65,6%, обогатительных фабрик – 72,6%. На отвалах шахт наблюдается увеличение пористости при изменении степени метаморфизма добываемых углей от Г до К, затем она снижается к антрацитам [4].

В настоящее время более 74 % отвалов Донбасса представлены конусными породными отвалами (рис. 2.), каждый из них занимает до 10 га ценных земель горнопромышленных агломераций [14].



Рис. 2. Отвал шахты им. Челюскинцев
(высота 124 м)

Размер зон влияния породных отвалов в несколько раз превышает их площади. Остро стоит проблема горящих породных отвалов [2].

В экологически вредных и опасных для здоровья и жизни условиях вынуждены находиться жители горнопромышленных агломераций, проживающие в пределах зоны влияния горящих породных отвалов. Природные возвышенности дополняются антропогенными возвышенностями в виде породных отвалов разной формы. Добыча угля, отсыпка породы в отвалы, откачка шахтных вод увеличивают крутизну склонов рельефа, способствуют техногенному развитию оползней и эрозии. Исследователями установлено, что в результате водной эрозии из породного отвала в среднем смывается до 400 м³/га в год породы, при этом с южного склона смыв в 2 - 3 раза больше [14]. Дефляция породных отвалов оказывает негативное влияние на окружающую среду. Установлено, что воздействие ветра на породные отвалы области приводит к потенциальному выносу до 157 т/год породы с гектара поверхности отвала [14].

Наибольшее загрязнение характерно для периода отсыпки отвала: от подножия отвала до границы СЗЗ плотность загрязнения снижается от 550 до 1 т/га, а на расстоянии 1000 м она равна 80 кг/га, что в 35 раз больше чем при дефляционном загрязнении [6]. Однако, для старых породных отвалов, это уже не имеет первостепенного значения.

Породные отвалы также влияют на изменение климата. Известно, что в урбанизированном регионе движение горизонтальных воздушных масс снижено в среднем на 25% по сравнению с прилегающей территорией. Выбросы токсичных газов и пыли при горении породных отвалов определенное время находятся в атмосфере, способствуя конденсации водяного пара с

образованием туманов, облаков. Таким образом, количество осадков на 5 - 10% больше и количество туманов в 2 - 5 раз больше по сравнению с прилегающей территорией [6].

Наибольшую опасность для жителей горнопромышленных агломераций представляют горящие породные отвалы. В.И. Саранчуком установлено, что в угледобывающих районах горящие породные отвалы выбрасывают в сутки в среднем 9,758 т CO, 154,170 т - CO₂, 1,476 т - SO₂, 0,399 т - H₂S и 0,072 т N₂O + N₂ [12].

В глобальном масштабе выбросы большого количества парниковых газов из горящих породных отвалов могут вносить вклад в изменение климата и экосистем. В региональном и локальном масштабе выбросы оксидов углерода, оксидов азота, сернистого ангидрида, сероводорода, взвешенных частиц и микроэлементов могут вызывать проблемы здоровья населения. Такие летучие элементы как мышьяк, фтор, ртуть, селен часто встречаются в залежах угля, а при возгорании они могут улетучиваться в атмосферу, а затем вдыхаться, или адсорбироваться на растениях и передаваться затем по пищевым цепям [1].

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами горящего породного отвала проведен расчет рассеивания загрязняющих веществ породного отвала шахты «Октябрьский рудник». Расчет рассеивания проводился с использованием программы ЭОЛ-2000 и данных о расчетных выбросах отвала. Расчет рассеивания проводился без учета фонового загрязнения атмосферы. Для породного отвала шахты «Октябрьский рудник» санитарно-защитная зона выдержана (500 м). Ближайшее жилье находится на востоке на расстоянии 550 м.

Проведенный расчет рассеивания выбросов загрязняющих при горении породного отвала шахты «Октябрьский рудник» показал превышения ПДК на границе СЗЗ и жилье по сероводороду: 2,92 ПДК на СЗЗ, 1,62 ПДК на жилье; по суммарному действию сероводорода и диоксида серы: 3,13 ПДК на СЗЗ, 1,99 ПДК на жилье (рис. 3.).



Рис. 4. Посёлок Межевое, Донбасс.

Посёлок Широкое (рис. 5.), который относится к Харцызскому городскому совету. Население составляет 1041 человек, 340 жилых домов. На территории поселения расположены два породных отвала (высота 40 м и 100 м) закрытой в 2000 году шахты «Донецкая» (Кировская). Газификации нет. За период четырёх лет произошло 11 официально зафиксированных обрывов линий электропередачи (7 из них в холодное время года).



Рис. 5. Посёлок Широкое

К сожалению, это характерная ситуация для маленьких промышленных районов в Донбассе. Официальная статистика не охватывает всего объема нарушений электроснабжения.

Ненадежность системы жизнеобеспечения является нарушением экологической безопасности регионов. Одним из перспективных путей повышения экологической безопасности подобных районов при наличии не горящих породных отвалов, является внедрение альтернативных источников энергии для жизнеобеспечения, применение которых в значительной степени повысит надежность и безаварийность жизнедеятельности.

В отдалённых от инфраструктуры районах Донбасса при невозможности ликвидации и полной рекультивации отвалов, перспективным является размещение автономных ветроэнергетических установок (ВЭУ) на породных отвалах горнодобывающих предприятий.

Исследования показали, что при минимальных вложениях, использовании морально устаревшей, но работающей техники и минимальной перепланировке отвалов существующих промплощадок не работающих шахт, возможно, решать ряд проблем промышленного района: рационально использовать площади породных отвалов, приблизить источник энергии к потребителю, обеспечить энергией районы, отдаленные от инфраструктуры, снизить металлоемкость ветроэнергетических конструкций, повысить надежность системы жизнеобеспечения.

Список литературы

1. Finkelman Robert B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks/ Robert B. Finkelman// International Journal of Coal Geology 59 (2004), p. 19–24
2. Lloyd, P.J., 2002. Coal mining and the environment. In Proceedings of the International Conference on Coal and Environment, Durban, South Africa, October 2002. International Bar Association (IBA), London, United Kingdom, 8-9.
3. Rosema, A., Guan, H.Y., Veld, H., Vekerdy, Z., Ten Katen, A. M., and Prakash, A., 1999. Manual of coal fire detection and monitoring.
4. Зубов, А. Р. Повышение экологической безопасности породных отвалов угольных шахт / А.Р. Зубов, Л.Г.Зубова, С.Г.Воробьев, А.А.Зубов и др. – Луганск: изд-во ВНУ им. Даля, 2012. – 172 с.
5. Зубова, Л. Г., Зубов, А. Р., Зубов, А. А. Терриконы: монография / Л. Г. Зубова, А. Р. Зубов, А. А. Зубов, А. В. Харламова, С. Г. Воробьев, Ю. И. Макаришина, В. В. Буняченко. – Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2015. – 712 с.
6. Зубова, Л. Г. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса: монография /Л. Г. Зубова, О. Р. Зубов, А. А. Зубов и др.. - Луганск: изд-во СНУ им. Даля, 2012. – 144с.
7. Козырь, Д. А. Совершенствование систем мониторинга экологической безопасности породных отвалов [Текст]: диссертация кандидата технических наук: 05.23.19: защищена 26.12.2018: утв. 01.04.2018 / Козырь Дмитрий Александрович. – Донецк, 2014. – 176 с.
8. Приоритетные направления внедрения технологий умного города в российских городах: экспертно-аналитический доклад Центра стратегических разработок «Северо-Запад» / В.Н. Княгинин и [др.]. - Москва: Центр стратегических разработок «Северо-Запад», 2018. -173 с.
9. Макеева, Д. А. Повышение уровня экологической безопасности урбоэкосистем за счёт использования альтернативно-энергетического потенциала породных отвалов [Текст]: диссертация кандидата технических наук: 21.06.01: защищена 03.06.2014: утв. 23.09.2014 / Макеева Дарья Александровна. – Донецк, 2014. – 162 с.

10. Качан, Е. П. Региональная экономика [Текст] / Е. П. Качан. - изд. «Аннотація», 2011.- 303 с.
11. Саранчук, В. И. Борьба с горением породных отвалов / В.И. Саранчук. — Киев.: Наукова думка, 1978. 162 с.
12. Скорик, В. Г. Опыт озеленения терриконов угольных шахт Донбасса: Автореф. дис... канд. с.-х. наук.- К.: УСХА, 1976.- 29 с.
13. Смирный, М. Ф., Зубова, Л. Г., Зубов, А. Р. Экологическая безопасность терриконовых ландшафтов Донбасса: Монография. – Луганск: Изд. ВНУ им. Даля, 2006. – 232 с.

References

1. Finkelman Robert B. Potential health impacts of burning coal beds and waste banks/ Robert B. Finkelman// International Journal of Coal Geology 59 (2004), p. 19– 24
2. Lloyd, P.J., 2002. Coal mining and the environment. In Proceedings of the International Conference on Coal and Environment, Durban, South Africa, October 2002. International Bar Association (IBA), London, United Kingdom, 8-9.
3. Rosema, A., Guan, H.Y., Veld, H., Vekerdy, Z., Ten Katen, A. M., and Prakash, A., 1999. Manual of coal fire detection and monitoring. як складова техногенного навантаження // Вугілля України. - 2006. - № 2. - С.31-32.
4. Zubov, A. R. Improving the ecological safety of rock dumps of coal mines / A. R. Zubov, L. G. Zubova, S. G. Vorobiev, A. A. Zubov and others - Lugansk: publishing house of VNU im. Dahl, 2012 .-- 172 p.
5. Zubova, L. G., Zubov, A. R., Zubov, A. A. Waste heaps: monograph / L. G. Zubova, A. R. Zubov, A. A. Zubov, A. V. Kharlamova, S. G. Vorobiev, Yu. I. Makarishina, V. V. Bunyachenko. - Lugansk: Knowledge Publishing House, 2015. - 712 p.
6. Zubova, L. G. Obtaining metals from waste heaps of Donbass coal mines: monograph / L. G. Zubova, O. R. Zubov, A. A. Zubov and others. - Lugansk: view of SNU im. Dahl, 2012 .-- 144p.
7. Kozyr, D. A. Improving monitoring systems for enviromental safety of waste dumps [Text]: dissertation of a candidate of technical sciences: 05.23.19: defended on 26.12.2018: approved. 04.01.2018 / Dmitry A. Kozyr. - Donetsk, 2014 .- 176 p.
8. Priority directions for the implementation of smart city technologies in Russian cities: expert and analytical report of the Center for Strategic Research "North-West" / V.N. Knyaginina and [others]. - Moscow: Center for Strategic Research "North-West", 2018.-173 p.
9. Makejeva, D. A. Increasing the level of ecological safety of urban ecosystems through the use of alternative energy potential of waste dumps [Text]: dissertation of a candidate of technical sciences: 06/21/01: defended 06/03/2014: approved. 09.23.2014 / Makejeva Daria Alexandrovna. - Donetsk, 2014 .- 162 p.
10. Качан, Е. П. Regional economy [Text] / Е. П. Качан. - ed. "Annotation", 2011.- 303 p.
11. Saranchuk, V. I. Struggle with combustion of waste dumps / V. I. Saranchuk. - Kiev .: Naukova Dumka, 1978.162 p.
12. Skorik, V. G. Experience of landscaping waste heaps of Donbass coal mines: Author. dis . cand. s.-kh. Sciences.- Kiev: USKHA, 1976.- 29 p.
13. Smirny, M. F. , Zubova, L. G., Zubov, A. R. Ecological safety of waste heaps of Donbass: Monograph. - Lugansk: Ed. VNU them. Dahl, 2006 .- 232 p.

УДК 331.45

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОХРАНОЙ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИИ

М.С. Подольская¹ студент, Г.А. Сигора² доцент

¹ ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь 299053, Российская Федерация, podolskaya_m99@bk.ru

² ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь 299053, Российская Федерация, sigoral@yandex.ru

Аннотация

В связи с интенсивностью развития производственных процессов, появлением и развитием новых видов деятельности, сохранение жизни и здоровья человека в трудовой деятельности приобретает все большее значение в современном мире. Правильная организация труда значительно повышает его производительность и резко снижает возможность производственных травм и увечий. Соблюдение её основных принципов выступает в современном мире эффективным инструментом, позволяющим решить целый круг задач. роль охраны труда на производстве очевидно велика и пренебрежение ей напрямую ведет к неблагоприятным последствиям. Сегодня в Российской Федерации, остро стоит вопрос о развитии культуры охраны труда, являющейся одним из основных элементов в управлении производством. Хочется, чтобы российские руководители восприняли эту норму, не выполняли работу по организации охраны труда формально и не

финансировали данную деятельность на основе остаточного принципа. В статье рассмотрены особенности системы управления охраной труда на предприятии, её актуальность, а также положительные и отрицательные стороны системы в целом. Рассмотрены основные определения в сфере охраны труда и основные мероприятия. Определены причины и цели создания на предприятии системы управления охраной труда. Также в статье рассмотрены основные проблемы и причины их возникновения в системе управления охраной труда на предприятии в целом.

Ключевые слова: охрана труда, система управления охраной труда на предприятии, несчастный случай, специальная оценка условий труда, предприятие, специалист по охране труда, проблемы охраны труда, безопасность, жизнь и здоровье работника, производство.

FEATURES OF THE LABOR PROTECTION MANAGEMENT SYSTEM IN THE ENTERPRISE

M.S. Podolskaya¹ student, G.A. Sigora² associate professor

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol 299053, Russian Federation, podolskaya_m99@bk.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol 299053, Russian Federation, sigora1@yandex.ru

Abstract

In connection with the intensity of the development of production processes, the emergence and development of new types of activity, the preservation of human life and health in labor is becoming increasingly important in the modern world. The correct organization of labor significantly increases its productivity and dramatically reduces the possibility of industrial injuries and injuries. Compliance with its basic principles is an effective tool in the modern world that allows you to solve a whole range of problems. the role of labor protection in production is obviously great and neglect of it directly leads to adverse consequences. Today in the Russian Federation, there is an acute issue of the development of a culture of labor protection, which is one of the main elements in production management. I would like the Russian leaders to accept this norm, not to formally carry out the work on the organization of labor protection and not to finance this activity on the basis of the residual principle. The article examines the features of the OSH management system at the enterprise, its relevance, as well as the positive and negative aspects of the system as a whole. The main definitions in the field of labor protection and the main measures are considered. The reasons and goals of creating an occupational safety management system at the enterprise have been determined. The article also discusses the main problems and the reasons for their occurrence in the OSH management system at the enterprise as a whole.

Keywords: labor protection, labor protection management system at the enterprise, accident, special assessment of working conditions, enterprise, labor protection specialist, labor protection problems, safety, life and health of an employee, production.

Сохранение жизни и здоровья человека в трудовой деятельности приобретает все большее значение в современном мире.

Правильная организация труда значительно повышает его производительность и резко снижает возможность производственных травм и увечий. Это, в свою очередь, оказывает и непосредственное положительное влияние на экономическую сторону труда: происходит снижение на оплату больничных листов и лечения сотрудников, уменьшается количество и размер компенсаций за работу во вредных условиях и пр.

Охрана труда в России – это система или комплекс мероприятий, направленных на защиту здоровья работника в процессе его трудовой деятельности [1].

Основные мероприятия охраны труда можно разделить на пять групп:

- правовые (оформление документации);
- социально-экономические (обязательное страхование работников, выплата компенсаций, предоставление льгот и т. п.);
- организационно-технические (специальная оценка условий труда на рабочих местах, оптимизация персонала и т. п.);
- санитарно-гигиенические (обеспечение работников спецодеждой, обувью и иными средствами защиты).
- профилактические (медосмотры, сотрудников, создание системы спортивного оздоровления работников).

Таким образом, охрана труда включает в себя комплекс мероприятий, направленных на создание безопасных условий занятости для сотрудников и предприятия в целом.

Система охраны труда – это система сохранения жизни и здоровья работников. Правила и порядок охраны труда работников регулирует Трудовой кодекс РФ.

Вопросы охраны труда являются объектом организационно-управленческих отношений трудового коллектива (соответствующего профсоюзного органа) с работодателем, а также социально-партнерских отношений на федеральном, отраслевом, региональном уровнях.

Неудовлетворительные условия труда, несчастные случаи на производстве и профессиональные заболевания ведут к серьезным социально-экономическим потерям как со стороны государства, так и со стороны работодателя, проявляясь как в виде значительных выплат в системе обязательного социального страхования за нанесенный ущерб, так и в виде недостаточно эффективно действующего механизма социального партнерства между органами государственной власти, работодателями и наемными работниками.

Существенных результатов в этом направлении работодатель может добиться с помощью системы управления охраной труда (далее СУОТ), при разработке которой следует руководствоваться основными принципами государственной политики в области охраны труда:

- разработка и осуществление технической политики, направленной на обеспечение здоровых и безопасных условий труда работников, организация научных исследований по этим проблемам;
- подготовка и утверждение в установленном порядке нормативных актов по охране труда;
- анализ причин производственного травматизма и профессиональных заболеваний, принятие мер по их профилактике;
- осуществление методического руководства службой охраны труда, организация обучения работников службы;
- организация проверки соблюдения правил охраны труда и установленных государством социальных гарантий в органах управления и учреждениях отрасли.

СУОТ — это набор взаимосвязанных или взаимодействующих между собой элементов, устанавливающих политику и цели по охране труда и процедуры по достижению этих целей.

СУОТ устанавливает правовые основы предприятия в области охраны труда и деятельность службы охраны труда работодателя, определяет задачи, основные

функции и права этой службы в общей системе управления профилактической работой на предприятии по предупреждению производственного травматизма, профессиональных заболеваний, улучшению условий труда работников.

Целью разработки и внедрения СУОТ на предприятии является:

- обеспечение здоровых и безопасных условий труда работников, а также обеспечение соответствия условий труда государственным нормативным требованиям;
- определение законов и иных нормативных правовых актов, содержащих государственные нормативные требования охраны труда, распространяющиеся на деятельность предприятия;
- выявление вредных и опасных производственных факторов и соответствующих им рисков, связанных с прошлыми, настоящими или будущими планируемыми видами деятельности организации;
- определение политики предприятия в области охраны труда;
- разработка организационных схем и программы для реализации политики и достижений ее целей выполнения поставленных задач.

Безопасные и здоровые условия труда должны обеспечиваться планомерным и систематическим проведением комплекса организационных, социальных, технических и финансово-экономических мероприятий, в том числе:

- распределением функций, задач и ответственности руководителей и специалистов предприятия;
- характером регламентных работ;
- финансированием мероприятий по охране труда и организацией бухгалтерского учета расходования выделенных средств;
- соответствия учебных и производственных процессов и проводимых различных мероприятий нормативным требованиям, количественной оценки результатов в области охраны труда;
- организацией обучения и систематическим повышением квалификации работников;
- созданием нормальных санитарно-бытовых и санитарно-гигиенических условий труда для работников предприятия, эффективной системы обслуживания, обеспечением работников спецодеждой, специальной обувью, а также средствами индивидуальной и коллективной защиты;

- организацией работ по обеспечению безопасных и здоровых условий труда;
- организацией эффективной системы контроля, действующей совместно с системой материального стимулирования;
- принятием гибкой системы определения и четким распределением обязанностей и ответственности должностных лиц и исполнителей по обеспечению безопасности при ведении учебных и других видов процессов в интересах организации.

Организация работ по обеспечению безопасных и здоровых условий труда должна содержать в своем составе и предусматривать планомерное и систематическое проведение:

- работ по обеспечению надежности и безопасности оборудования, зданий и сооружений;
- мероприятий по обеспечению безопасности выполнения соответствующих видов работ и направлений производственной деятельности персонала.

Основой организации и функционирования СУОТ является Положение о СУОТ предприятия, в котором определяются:

- политика работодателя в области охраны труда;
- цели работодателя в области охраны труда;
- обеспечение функционирования СУОТ (распределение обязанностей в сфере охраны труда между должностными лицами работодателя);
- процедуры, направленные на достижение целей работодателя в области охраны труда:
 - а) подготовки работников по охране труда;
 - б) организации и проведения специальной оценки условий труда;
 - в) управления профессиональными рисками;
 - г) организации и проведения наблюдения за состоянием здоровья работников;
 - д) информирования работников об условиях труда на их рабочих местах, уровнях профессиональных рисков, а также о предоставляемых им гарантиях, полагающихся компенсациях;
 - е) обеспечения оптимальных режимов труда и отдыха работников;
 - ж) обеспечения работников средствами индивидуальной и коллективной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;
 - з) обеспечения работников молоком и другими равноценными пищевыми продуктами, лечебно-профилактическим питанием;
- планирование мероприятий по реализации процедур;

- контроль функционирования СУОТ и мониторинг реализации процедур;
- планирование улучшений функционирования СУОТ;
- реагирование на аварии, несчастные случаи и профессиональные заболевания;
- управление документами СУОТ [2,3].

За последнее десятилетие подход на основе СУОТ получил широкое распространение и был внедрен как в развитых, так и в развивающихся странах. Способы содействия его применению могут быть разными – от нормативных до добровольных. Как показывает опыт, СУОТ является логичным и полезным средством, способствующим постоянному росту эффективности охраны труда на уровне предприятия. Главные элементы, необходимые для его успешной реализации, включают в себя заинтересованность руководства и активное участие работников в совместной реализации. Как ожидается, все большее число стран будет включать СУОТ в национальные программы охраны труда как инструмент стратегического содействия развитию устойчивых механизмов для повышения эффективности охраны труда на уровне предприятий [4].

Кроме того, в связи с огромным объемом прямых и косвенных затрат, которые несет общество, предприятия и люди вследствие плохих условий труда, производственного травматизма и профессиональных заболеваний, лучше и дешевле предотвращать их, чем выплачивать компенсацию ущерба и тратить средства на ликвидацию чрезвычайных ситуаций.

Эти принципы находят поддержку на самом высоком уровне.

Однако, помимо вышеперечисленных достоинств также хочется выделить хоть и несущественные, но минусы:

1. Система, в которой за охрану труда, пожарную безопасность, промышленную и т.д., в несчастных случаях ответственным остаётся руководитель, а не сотрудник, нуждается в пересмотре. Существует множество примеров, когда работнику проведены инструктажи, обучение по охране труда, а он по своей воле отказывается выполнять их, считая, что надевать каску на высоте или страховочную привязь для пятиминутной работы не обязательно. На больших предприятиях имея в штате несколько специалистов по ОТ невозможно проследить за каждым работником. В последствии мы имеем несчастный случай, не

редко со смертельным исходом и уголовной ответственность на руководителя.

2. Большое количество бумажной работы. Основная обязанность специалиста по охране труда - следить за выполнением законодательных нормативных актов по охране труда руководителями и работникам. Законодательная система устроена так, что специалист вынужден тратить большое количество времени на бумажную работу а не заниматься фактическим контролем. В большинстве государственных предприятий отсутствует система электронного документооборота, что еще больше затрудняет написание документов. Специалисту всегда необходима актуальная информация о каждом работнике, а в условиях отсутствия СЭД отследить это становится еще сложнее.

3. Специальная оценка условий труда, я считаю, также имеет потребность в пересмотре. На предприятиях часто меняются названия должностей и отделов, происходит

реорганизация, когда должностные обязанности и функционал остаётся тот же. В последствии необходимо снова выделять средства на проведение СОУТ, а такие изменения могут происходить почти каждый месяц.

4. Как и в большинстве предприятий, руководители зачастую пренебрегают выделением средств на обеспечение безопасных условий и охрану труда, многие отделы, службы, цеха находятся в ненадлежащем состоянии, в связи с чем, работникам приходится работать в неудовлетворительных условиях, а это напрямую влияет на качество выполняемой работы.

Система управления охраной труда на предприятии является важной и неотъемлемой частью на предприятии, однако нуждается в модернизации и пересмотре, для того чтобы соответствовать сегодняшнему времени, а не тому что было 10 лет назад.

Список литературы

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - Ст. 209.
2. «Примерное положение о службе охраны труда федерального органа исполнительной власти», утвержденного Постановлением Министерства труда и социального развития Российской Федерации 30 октября 1995 года № 59 (с изменениями, внесенными приказом Министерства труда и социального развития Российской Федерации 12 февраля 2014 года № 96 с изменениями на 25 июня 2014 года).
3. «Типовое положение о системе управления охраной труда», утверждено приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 19 августа 2016 года № 438н.
4. Система управления охраной труда: путь к непрерывному совершенствованию. Доклад МОТ к Всемирному дню охраны труда – 2011/МОТ, Группа технической поддержки по вопросам достойного труда и Бюро МОТ для стран Восточной Европы и Центральной Азии. – Москва: МОТ, 2011 г., 32 с.

References

1. Labor Code of the Russian Federation of December 30, 2001 No. 197-FZ (as amended on April 1, 2019) // Collected Legislation of the Russian Federation. - 07.01.2002. - Art. 209.
2. "Approximate Regulation on the Labor Protection Service of the Federal Executive Body", approved by the Resolution of the Ministry of Labor and Social Development of the Russian Federation No. 59 on October 30, 1995 (as amended by order of the Ministry of Labor and Social Development of the Russian Federation on February 12, 2014 No. 96 s changes as of June 25, 2014).
3. "Standard regulations on the labor protection management system", approved by order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation dated August 19, 2016 No. 438n.
4. Occupational health and safety management system: a path to continuous improvement. ILO World Day for Safety and Health at Work 2011 / ILO Report, Decent Work Technical Support Team and ILO Office for Eastern Europe and Central Asia. - Moscow: MOT, 2011, 32 p.

УДК 532.529.5

ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГРАДИРЕН СУХОГО ТИПА

М. А. Щербакowa¹ магистр, Л. И. Осадчая² канд. геогр. наук,
Л. А. Ничкова³ канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, eskovama2803@gmail.com.

² ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, lila1809@mail.ru.

³ ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, nichkova@sevsu.ru.

Аннотация

Объектом исследования является градирня как теплообменный аппарат для охлаждения технической воды. В данной статье рассматриваются вопросы связанные с оптимизацией системы охлаждения оборотной технической воды промышленного предприятия в условиях резко-континентального климата. Сухие градирни охлаждают теплоноситель без подачи воды (поэтому они и называются сухими), только за счет направленного воздушного потока, который, нагреваясь, уносит с собой часть «отнятого» тепла, но в тоже самое время сокращает возможность испарения жидкости в системе, чем сокращает расход оборотной технической воды. Установлено, что эксплуатируемая градирня должна соответствовать ряду требований - технических, эксплуатационных, экологических и др. Особое внимание уделяется эффективности и экологической безопасности градирен сухого типа для промышленных предприятий. В результате анализа сделаны выводы, что градирни сухого типа имеют ряд преимуществ: они более компактны в своих размерах, расход воды меньше, чем в испарительных градирнях, так как отсутствует испарение воды, помимо воды можно охлаждать раствор гликоля, масла и др. Помимо этого были проанализированы преимущества и недостатки градирен сухого типа для регионов с резко-континентальным климатом.

Ключевые слова: градирня, оборотная техническая вода, промышленное предприятие, градирня сухого типа, экологическая безопасность.

THERMAL EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF DRY-TYPE COOLING TOWERS

М. А. Shcherbakova¹ master's student, L. I. Osadchaya² cand. geographic sci.,
L. A. Nichkova³ cand. tech. sci.

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, 299011, eskovama2803@gmail.com.

² FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, 299011, lila1809@mail.ru.

³ FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, 299011, nichkova@sevsu.ru.

Abstract

The object of the study is a cooling tower as a heat exchanger for cooling industrial water. This article deals with the issues related to the optimization of the cooling system of the recycled technical water of an industrial enterprise in the conditions of a sharply continental climate. Dry cooling towers cool the coolant without water supply (that is why they are called dry), only due to the directed air flow, which, when heated, carries away some of the "taken away" heat, but at the same time reduces the possibility of liquid evaporation in the system, which reduces the consumption of recycled process water. It is established that the operated cooling tower must meet a number of requirements - technical, operational, environmental, etc. Special attention is paid to the efficiency and environmental safety of dry-type cooling towers for industrial enterprises. The analysis concluded that the cooling tower dry-type have several advantages: they are more compact in size, the water consumption is less than evaporative Gras-Dinah, because there is no evaporation of water, other than water can be cooled solution of glycol, oil, etc. In addition, the advantages and disadvantages of dry-type cooling towers for regions with a sharply continental climate were analyzed.

Keywords: cooling tower, recycled industrial water, industrial enterprise, dry type cooling tower, environmental safety.

1. Введение

Сегодня энергетические предприятия сталкиваются с острой необходимостью обеспечения экологически оправданных технологических решений с высоким уровнем безопасности, снижающим риск возникновения техногенных катастроф.

Одну из важнейших частей машиностроительных конструкций современных энергетических систем составляют теплообменные устройства. Элементом связи теплообменных систем с окружающей средой, являются градирни, с помощью которых осуществляется удаление продуктов тепловыделения в окружающую среду. Желание снизить энергозатраты на производство продукции часто оборачиваются выбросом вредных веществ в располагающиеся около промышленных районов места массового проживания людей со всеми вытекающими из этого негативными последствиями.

В последнее время особую значимость приобретает объединенная постановка экологических и технологических задач в связи с реконструкцией и заменой устаревшего оборудования. Возникает необходимость в изменении конструктивных недостатков действующего оборудования, как с точки зрения эксплуатационной безопасности, так и в связи с потребностью учета риска катастрофических последствий, связанных с выработкой ресурса работоспособности.

Все вышеупомянутое свидетельствует об актуальности модернизации градирен, приводящей к уменьшению энергозатрат и одновременно к снижению эксплуатационных выбросов в окружающую среду.

2. Основная часть

Градирня представляет собой сооружение для охлаждения воды в оборотных системах водоснабжения, применяемых на промышленных предприятиях, атомных электростанциях и ТЭЦ. По способу передачи тепла атмосферному воздуху градирни классифицируют на:

- испарительные, в которых передача тепла от воды воздуху осуществляется в основном за счет испарения;
- сухие или радиаторные, в которых передача тепла происходит через стенки радиаторов за счет теплопроводности и конвекции;
- смешанные, в которых передача тепла осуществляется за счет испарения, теплопроводности и конвекции [1].

Оросительные башенные градирни состоят чаще всего из системы, подающей

воду, оросителя и резервуара для охлажденной воды.

Сухой охладитель необходим на производстве для охлаждения теплоносителя за счет окружающей среды. Применяется в охлаждении технологических процессов, когда требуемая температура выше температуры окружающего воздуха, что позволяет максимально эффективно использовать температуру окружающего воздуха для охлаждения оборудования. Вентиляторная градирня энергоэффективна, экономична в эксплуатации и пользуется спросом на предприятиях промышленности.

При установке водоохлаждающего оборудования необходимо исходить из климатических условий региона. Сухую градирню рекомендуется устанавливать в регионах, где среднесуточная температура в среднем за год имеет низкие показатели. Это объясняется эксплуатационными характеристиками оборудования. Вентиляторная сухая градирня способна охладить жидкость на 2-3 °С выше окружающего воздуха [2].

Устройство сухой градирни следующее: внутри корпуса размещен закрытый теплообменник, по которому циркулирует вода. Обмен тепловой энергии происходит за счет потока воздуха, поступающего от вентилятора.

В сухих градирнях используются радиаторы из меди или алюминия, что приводит к более интенсивному тепломассообмену и охлаждению воды, которая в дальнейшем подводится к деталям котла [3].

Смоделируем следующую ситуацию. Для промышленного предприятия, расположенного в резко континентальном климате, требуется устройство градирни. Перед руководством организации стоит вопрос, какой вид градирни использовать: оросительную или сухую градирню?

Характеристики каждой из этих градирен представлены в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные и характеристики градирен

Исходные данные / характеристика	Оросительная градирня	Сухая градирня
Общий объем охлаждаемой воды	144,7 т/ч	
Тепловая нагрузка	48,7 м ³	48,3 м ³
Поверхность теплообмена	350,3 м ²	351,37 м ²
Средняя разность между теплоносителями	16,7 °С	13 °С
Площадь градирни	2014 м ²	225 м ²
Расход воздуха	2193 м ³ /с	57,07 м ³ /с

Исходя из данных представленных в таблице 1 можно сделать вывод, что градирня сухого типа несмотря на меньшие размеры не уступает в производительности оросительной градирне. Обслуживание такой градирни выходит дешевле, чем оросительной градирни, в градирнях сухого типа помимо воды можно охлаждать другие жидкости (раствор гликоля, масло и др.)[4].

В целом сухие градирни рекомендуются использовать в следующих случаях:

- при необходимости охлаждения теплоносителя без его контакта с внешней средой;
- при невозможности обеспечения постоянной подачи новой воды, которая теряется в результате уноса;
- когда вместо воды в качестве хладагента используется этиленгликоль или другая токсичная жидкость;
- при необходимости охлаждения жидкости с высокой температурой [5].

В регионах, с низкой обеспеченностью водой, в выборе между системами охлаждения сухого и испарительного типа, кроме воздействия на окружающую среду, существенным фактором становится соображения экономического плана.

При применении градирен сухого типа не происходит испарение теплоносителя (воды), потому что он циркулирует по замкнутому контуру и, следовательно, он не загрязняется, не требует после охлаждения дополнительной очистки. Применение сухой градирни не приводит к химическому загрязнению и повышению влажности воздуха.

Преимущества установки сухой градирни можно свести к следующему:

- простота конструкции и проведение монтажных работ сухой градирни в проектируемую и уже действующую систему охлаждения;
- использование в работе широкого спектра жидкости;
- эксплуатация при отрицательных температурах в сочетании с такими теплоносителями как антифриз (раствор этилен или пропиленгликоля);
- наличие замкнутого контура в сухой градирне освобождает от необходимости очистки воды;
- наличие замкнутого контура снижает уровень испарения жидкости;
- компактная конструкция, минимальное сервисное обслуживание сухой градирни [6].

К недостаткам сухой градирни можно отнести невозможность использования воды в качестве теплоносителя при отрицательных температурах воздуха. Жидкости внутри теплообменника при минусовых температурах замерзают, поэтому следует использовать антифриз.

6. Заключение

В ходе проведенного анализа состояния части системы технического водоснабжения предприятия, где для охлаждения технической воды установлены оросительные башенные градирни рассматривалась возможность замены оросительной градирни на сухую. Данное решение целесообразно, так как рассматриваемый объект находится в Сибири и в суровые морозы техническая оборотная вода может замерзать, но при использовании градирни сухого типа этого можно избежать.

Список литературы

1. Гладков В. А. и др. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84).ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 190 с.
2. Что такое градирни, их виды и принципы работы [Интернет ресурс]/ - режим доступа: <https://gradirni.tmim.ru/gradirnya>
3. Способы рационального использования градирен [Интернет ресурс]/ - режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-ratsionalnogo-ispolzovaniya-gradiren>
4. Еськова М. А. Реконструкция цикла оборотной воды ТЭЦ с применением градирни сухого типа. Кемерово, 2019. – 70 с.
5. Лаптев А. Г., Ведьгаева И. А. Устройство и расчет промышленных градирен. Казань, 2004. – 180 с.
6. Водные ресурсы и обеспечение продовольственной безопасности и питания Интернет ресурс]/ - режим доступа: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_S_and_R/HLPE_2015_Water_for_FSN_Summary-and-Recommendations_RU.pdf

References

1. Gladkov V. A. et al. Manual for the design of cooling towers (to SNiP 2.04.02-84).VNII VODGEO Gosstroya SSSR. - M: TsITP Gosstroya SSSR, 1989 – - 190 p.

2. What are cooling towers, their types and principles of operation [Internet resource] / - access mode: <https://gradirni.tmim.ru/gradirnya>
3. Ways of rational use of cooling towers [Internet resource] / - access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-ratsionalnogo-ispolzovaniya-gradiren>
4. Eskova M. A. Reconstruction of the cycle of recycled water of the CHPP with the use of a dry type cooling tower. Kemerovo, 2019 – - 70 p.
5. Laptev A. G, Vedgaeva I. A. Device and calculation of industrial cooling towers. Kazan, 2004 .-- 180 p.
6. Water resources and food security and nutrition [Internet resource] / - access mode: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/HLPE_S_and_R/HLPE_2015_Water_for_FSN_Summary-and-Recommendations_RU.pdf

УДК 364.122.5

ОСОБЕННОСТИ УРБАНИЗАЦИИ ТЕРРИТОРИЙ И СОЗДАНИЕ ГОРОДА «С НУЛЯ»

Т. В. Иванова¹ студент, Г. А. Сигора² доцент

¹ ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь 299053, Российская Федерация, tanyaivanova173@gmail.com

² ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь 299053, Российская Федерация, sigora1@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрены особенности урбанизации территорий, указаны основные проблемы современного города, как следствие урбанизации. Определены негативные воздействия урбанизации на человека и окружающую среду: загрязнённость территорий, перенаселённость, нехватка питьевой воды и энергетических ресурсов. Доказана необходимость строительства новых плановых городов и актуальность проблемы. Указано, что в связи с проблемами, существующими в городах, необходимо пересмотреть подходы к планированию городской среды, поэтому в статье обозначены цели города и основные его функции. Рассмотрена в обобщенном виде наблюдаемая сегодня смена парадигм в развитии городов. Предложены корректировки урбанизации городов для дальнейшего создания планового умного города «с нуля». Также были рассмотрены ключевые аспекты города: выбор места для строительства, снабжение города водой, выработка энергии экологически чистым путём, схемы улиц, границы города (константа Маркетти), современный транспорт, контроль микроклимата, обращение с отходами, рабочие места в городе. Приведены примеры новых умных городов, построенных «с нуля». Подведены итоги исследования, которые показывают, что модель «умных городов» поможет в достижении таких целей, как улучшение качества жизни, сокращение числа преступлений, повышение эффективности использования ресурсов, рост производительности, повышение прозрачности относительно использования и состояния ресурсов, повышение уровня мобильности, появление «умного» электронного транспорта, возросшая доступность образования, повышение уровня занятости и снижение уровня загрязнения воздуха и окружающей среды в целом.

Ключевые слова: урбанизация, умный город, город «с нуля», цели и функции города, вода, микроклимат, выработка энергии экологически чистым путём, константа Маркетти, современный транспорт, отходы.

FEATURES OF URBANISATION OF TERRITORIES. PROPOSALS FOR THE ADJUSTMENT OF URBANISATION OF CITIES. CREATING A CITY "FROM SCRATCH»

T. V. Ivanova¹ student, G.A. Sigora² associate professor

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol 299053, Russian Federation, tanyaivanova173@gmail.com

² FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol 299053, Russian Federation, sigora1@yandex.ru

Abstract

The article considers the features of the urbanization of territories, identifies the main problems of the modern city, as a consequence of urbanization. The negative impacts of urbanization on humans and the environment are identified: pollution of territories, overpopulation, lack of drinking water and energy resources. The necessity of building new planned cities and the urgency of the problem are proved. It is indicated that in connection with the problems existing in cities, it is necessary to review the approaches to planning the urban environment, so the article outlines the goals of the city and its main functions. The article considers the current paradigm shift in urban development in a generalized form. Adjustments to the urbanization of cities is proposed for the further creation of a

planned smart city "from scratch". The key aspects of the city were also considered: the choice of a place for construction, the supply of water to the city, the generation of energy in an environmentally friendly way, street maps, city borders (constant Marchetti), modern transport, climate control, waste management, jobs in the city. Examples of new smart cities built "from scratch" are given. The results of the study show that the "smart cities" model will help to achieve such goals as improving the quality of life, reducing the number of crimes, improving the efficiency of resource use, increasing productivity, increasing transparency about the use and condition of resources, increasing mobility, the emergence of "smart" electronic transport, increased accessibility of education, increasing employment and reducing air pollution and the environment in general.

Keywords: urbanization, smart city, city "from scratch", goals and functions of the city, water, microclimate, energy production in an environmentally friendly way, Marchetti constant, modern transport, waste

Для современного мира характерно большое количество городов, образовавшихся в постиндустриальную эпоху. В таких городах из-за нечеткого зонирования возникают трудности с микроклиматом, движением транспорта, а нехватка растительности влияет на экологию.

Если обобщить недочёты уже имеющихся и давно функционирующих городов, то можно сказать, что проблемой города, как следствие урбанизации, является негативное воздействие совокупности факторов на человека и окружающую среду. Под негативным воздействием понимается загрязненность территорий, перенаселённость, нехватка питьевой воды, энергетических ресурсов и так далее. Выявление противоречий (на примере городов современности) от ожидания положительного функционирования городов поможет скорректировать недочёты и определить вектор действий при строительстве новых городов.

Актуальность проблемы не вызывает никаких сомнений, так как технические, социальные и экологические аспекты урбанизации помимо положительных функций, приносят большое количество проблем. Департамент Организации Объединенных Наций (ООН) по экономическим и социальным вопросам опубликовал новые прогнозы относительно мирового роста числа городов и городского населения. По оценкам ведомства, к 2030 году в мире будет 43 мегагорода с населением от 10 млн человек, а к 2050 году уже две трети жителей планеты будут горожанами [1]. Поэтому строительство плановых городов будет одной из глобальных целей на ближайшие три десятилетия.

Постоянная достройка города и расширение его границ невозможна, иначе проблема урбанизации не решится, поэтому нужно строить новые города - плановые. Классические города отстраивались постепенно, начиная с сёл и деревень постепенно застраиваясь вокруг. Плановые

города появляются сразу в большом виде согласно плану. Таких городов со временем будет всё больше. Плановые города строят с концепцией, за каждым городом стоит своя философия и идея, которая привлекает жителей. Примером планового города может послужить «город-сад» - концепция идеального города, которую разработал английский социолог-утопист Эбенизер Говард, когда кольца домов чередуются с зелёными насаждениями, чтобы каждый мог за 5 минут дойти до парка и отдохнуть. Это путь соединения благ города и комфорта деревни, путь оздоровления промышленных районов и кооперации населения.

Большое количество городов, образовавшихся в 20 веке, функционировали по иной схеме. Огромное количество людей перевозили к новым заводам и месторождениям. Там для рабочих одного предприятия строили отдельные моногорода. Самыми загрязненными городами являются центры тяжелой промышленности (черная и цветная металлургия, нефтепереработка, химикаты и производство целлюлозы). Качество воздуха в остальных, не являющихся моногородами, снижается с каждым годом по мере роста количества автомобилей на душу населения [2].

Раньше для постройки городов было 3 цели:

1. Гармония с природой;
2. Добыча ресурсов;
3. Организация функционирования одного предприятия.

В связи с проблемами, существующими в городах, необходимо пересмотреть подходы к планированию городской среды. Чтобы переосмыслить сферу градостроительства, нужно открыть ее новые грани. Решения для этого могут быть разнообразные. Следует учитывать, что каждый город имеет свою специфику и уникальные черты, а потому универсальных решений не существует. Необходимо четко понять и сформулировать, как правильно трансформировать город и что

может сократить продолжительность этого процесса. В обобщенном виде наблюдаемая сегодня смена парадигм в развитии городов заключается в следующем:

-происходит перемена базовых концепций: на смену образам «город как офис», «город-машина» (линейное и фрагментарное мышление, жесткий рационализм) приходят модели «город для жизни», «город, способствующий здоровому образу жизни» (междисциплинарное, новаторское мышление, учитывающее, прежде всего, психологию населения и т. п.);

-приобретает актуальность сочетание подходов «город как проект» и «город как мозаика проектов».

Новая философия урбанизма ориентирована на теорию креативного города. Он характеризуется как место, которое благоприятствует воплощению смелых новаторских инициатив с вовлечением максимального количества людей; место, где по-новому подходят к решению социально-экономических задач; место, которое позволяет быть на переднем крае компетенций; место, образ которого формируется не только архитекторами и урбанистами, но и всем населением; место коллективного творчества жителей [3].

Как построить новый город «с нуля», учитывая ошибки прошлого:

1. Выбор места.

Пустыни, болота и леса на данный момент можно считать популярными местами для строительства, потому что в самых оптимальных местах уже всё куплено, построено, дорого стоит земля. В трудных местах стратегически выгодно строить. Например, Пётр Первый построил Санкт-Петербург на болотах, чтобы обеспечить выход к морю, что способствовало развитию флота. В данный момент примером строительства города «с нуля» в пустыни может послужить город Масдар в Объединенных Арабских Эмиратах.

2. Вода.

Города необходимо стоит строить ближе к пресной воде. Воду можно найти даже в пустыни, где могут скрываться целые водоносные горизонты. Так в 1953 году был обнаружен Нубийский водоносный слой (далее НВС) — крупнейший из известных в мире подземный источник ископаемой пресной воды. Он расположен в восточной части пустыни Сахара и охватывает границы четырёх стран на северо-востоке Африки. НВС занимает территорию площадью чуть более

двух миллионов квадратных километров, включая северо-западный Судан, северо-восточную часть Чада, юго-восток Ливии и большую часть Египта. Современные технологии позволяют опреснять воду быстро и в больших объёмах, если рядом нет пресной.

3. Электричество.

- Гидроэлектростанция
- Ветровая станция
- Солнечная станция
- Обезуглероженный каменный уголь
- Геотермальная энергия

Экологически чистые источники энергии имеют привилегию в первую очередь из-за своей экологичности и значительно меньшим уроном для окружающей среды, а также из-за возобновляемости сырья. Однако есть и свои недостатки: дороговизна налаживания станций, значительная привязанность к местности, нехватка мощности. Решением проблемы может послужить подключение не к одной электростанции, а к целой энергосистеме, где вышеперечисленные источники делятся энергией.

4. Улицы.

В зависимости от задумки, стратегии и философии нового города выбирают расположение улиц.

Схемы улиц:

- лучевая
- радиальная
- радиально-кольцевая
- прямоугольная
- комбинированная
- свободная.

Например, в районе Эшампле в Барселоне модернизировали прямоугольную схему улиц, объединив квартал в суперквартал. Внутри запрещен проезд грузовикам и автобусам, может заехать только личный транспорт двигаясь не более 10 км/ч из-за чего стало меньше аварий. Благоустроенные кварталы удобны для передвижения пешеходов и проведения различных мероприятий.

Лаваса - первый полностью частный город, которому всего 10 лет, изначально создавался как туристический город, был построен по свободной схеме. Такая планировка добавляет жизни в город, и именно по таким улицам любят гулять туристы.

5. Границы.

Когда-нибудь новые города начнут расти, и чтобы не допустить бесконтрольный рост — определяют границы.

Как понять какой ширины должны быть города?

В 1994 году итальянский физик Чезаре Маркетти описал идею, получившую название «константа Маркетти». Он предположил, что людям всегда было важно, чтобы дорога от дома до работы занимала не более получаса в одну сторону. Влияние этого принципа на городскую жизнь очень велико, ведь ценность земли зависит в том числе от ее расположения и транспортной доступности. Даже если свободной земли много, ее ценность в городском контексте не будет высокой, пока отсутствует адекватное сообщение с центром. Этот сценарий повторялся с каждым новым этапом развития транспорта. Получается, что размер городов зависит от скорости передвижения на доступных видах транспорта. Чем выше скорость, тем больше город и ниже цены на землю и недвижимость на новых участках. Тридцать минут – время за которое житель может добраться из окраины в центр на самом популярном транспорте своего времени – пешком, на велосипед, на поезде или машине [4].

6. Транспорт

Решить проблему пробок и транспорта возможно расположением жилых кварталов недалеко от центров активности. В радиусе 800 метров (10 минут ходьбы) должно быть достаточно разных заведений: школа, офис, фитнес залы, закусочная, чтобы житель сам захотел оставить машину и пройти пешком. Крайний, но самый эффективный вариант – запретить автомобили совсем и сделать персональный автоматический транспорт. Такой вид транспорта уже существует в ОАЭ – личный автобус для каждого (система скоростной индивидуальной перевозки), который едет по заданному маршруту без пробок, без промежуточных остановок, переполненного общественного транспорта. Небольшие кабины-гондолы, перемещающиеся по строго заданному маршруту, обычно – по рельсам, желобам, троссам или иным направляющим, не пересекаясь с дорогами, по крайней мере в одной.

7. Микроклимат.

На формирование микроклимата города, помимо природных условий, оказывают влияние условия, создаваемые городской застройкой, а также функционированием автотранспорта, теплоэлектростанций, промышленных и других предприятий.

В каждом городе создаётся свой микроклимат. Чаще всего проблемы связаны с повышенной температурой и ветром. В каждом городе немного теплее, чем за его пределами, а вертикальный ветер между домами может

сбивать с ног. Например, в городе Лидс, Англия в 2007 году был достроен и открыт небоскрёб под названием Bridgewater Place. Форма здания ускоряет ветры в непосредственной близости, сбивая пешеходов и даже транспортные средства. Чтобы этого не случилось, стоит заранее просчитать форму и расположение здания на симуляции.

Решить эти две проблемы возможно вернув природу городу:

- длинные ряды растений на земле замедляют резкие и быстрые потоки воздуха;
- если поместить растения на крышах зданий, то они помогут уменьшить температуру в городе на несколько градусов.

Обычные крыши поглощают до 95 %, нагреваясь до 70-80 градусов Цельсия. А с зеленью нагреваются не сильнее, чем воздух вокруг.

8. Отходы.

Минимизируя использование пластика, количество несанкционированных свалок, усиливая контроль над отходами, человек частично тешает проблему утилизации твердых коммунальных отходов. Но даже это не позволит полностью избавиться от мусора. Именно поэтому их нужно правильно утилизировать или использовать повторно. Поспособствовать этому может правильная сортировка мусора.

В мире уже начинают сортировать отходы по контейнерам, которые спрятаны под землю. Модернизация этого процесса произошла в новом городе Сонгдо в Южной Корее, где мусор по огромной трубе сразу попадает в центр, где его сортируют, избавляют от запаха. Как следствие – отсутствие антисанитарии, контейнеров, свалок.

9. Работа.

Важно продумать много разнообразных рабочих мест, иначе город не будет функционировать и превратится в город-призрак. В моногородах строилось всё для одной отрасли, после закрытия которой город оказывался на грани коллапса.

У хороших новых городов должна быть хорошая философия и оправданные вложения. В последнее время всё популярнее становятся города-инкубаторы для IT-компаний. Например, Иннополис, город-спутник Казани, также построен с нуля и является самым новым городом в постсоветской России. Он, как и подмосковный центр «Сколково», был создан специально для развития технологий и инноваций. На сегодняшний день в городе проживает более 3 тысяч жителей. При этом резидентами Иннополиса являются 75

компаний, среди которых «Яндекс», «Тинькофф-банк», «Сбербанк-Технологии», RedMadRobot, Cognitive Technologies и другие. Большую часть жителей города составляют ИТ-специалисты, работающие в особой экономической зоне «Иннополис». Кроме того, в городе живут более 500 студентов Университета Иннополис. Еще приблизительно 1 тысяча человек приезжает сюда ежедневно на работу из Казани и других соседних населенных пунктов. Сейчас мэрия города продолжает тестировать в Иннополисе отдельные технологии smart city. В иннограде уже работают сети «умных» счетчиков и «умных» домофонов, на бытовые вопросы горожан отвечает виртуальный сотрудник мэрии бот Инна, а по улицам города курсируют электробусы [5].

Невозможно учесть все факторы развития «города с нуля», чтобы он отвечал всем

функциям «умного города». Методом проб, ошибок, имеющегося опыта, человечество продвигается вперед к достижению целей, которые преследует на пути к «идеальному городу».

Таким образом, подводя итоги исследования, можно предположить, что модель «умных городов» поможет в достижении таких целей, как улучшение качества жизни, сокращение числа преступлений, повышение эффективности использования ресурсов, рост производительности, повышение прозрачности относительно использования и состояния ресурсов, повышение уровня мобильности, появление «умного» электронного транспорта, возросшая доступность образования, повышение уровня занятости и снижение уровня загрязнения воздуха и окружающей среды в целом [6].

Список литературы

1. Алена Миклашевская// «Две трети населения Земли будет жить в городах»// электронная газета «Коммерсантъ».-[Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3630399> (дата обращения: 14.01.21);.
2. Олег Ляховенко, Дмитрий Чулков// «Основные экологические проблемы российских городов и стратегия их разрешения»// журнал «Русская политология» – Russian political science». - 2017 - №3. –С.21.
3. М.В. Бойкова, И.Н. Ильина, М.Г. Салазкин //«БУДУЩЕЕ ГОРОДОВ: ГОРОДА КАК АГЕНТЫ ГЛОБАЛИЗАЦИИ И ИННОВАЦИЙ»// журнал «Форсайд»С.-34.- [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17233322> (дата обращения: 14.01.21).
4. Анастасия Соломина //«От дома до работы: как транспортное сообщение изменило устройство городов»// 2019.- [Электронный ресурс] – URL: <https://perito-burrito.com/posts/commute-transport> (дата обращения: 14.01.21).
5. Антон Кузнецов// «Кто строит новые технологические города в России и зачем они нужны?» ,2018 Сетевое издание RB.RU.- [Электронный ресурс]. – URL: <https://rb.ru/longread/new-cities/> (дата обращения: 14.01.21).
6. Камолов С.Г., Корнеева А.М. Технологии будущего для «умных городов» // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Экономика. 2018. № 2. С. 100–114.

References

1. Alyona Miklashevskaya "Two thirds of the Earth's population will live in cities "electronic newspaper" Kommersant " - [Electronic resource]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3630399> (date accessed: 14.01.21).
2. Oleg Lyakhovenko, Dmitry Chulkov "The main environmental problems of Russian cities and the strategy of their resolution" from the journal "Russian Political science" - 2017-No. 3. - p. 21.
3. M. V. Boikova, I. N. Ilyina, M. G. Salazkin " THE FUTURE OF CITIES: CITIES AS AGENTS OF GLOBALIZATION AND INNOVATION "journal" Forsayd " - 34c [Electronic resource]. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17233322> (accessed: 14.01.21).
4. Anastasia Solomina " From home to work: how transport communication changed the structure of cities " 2019 [Electronic resource]. - URL: <https://perito-burrito.com/posts/commute-transport> (accessed: 14.01.21).
5. Online edition of RB.EN, Anton Kuznetsov "Who is building new technological cities in Russia and why are they needed?" 2018 [Electronic resource]. - URL: <https://rb.ru/longread/new-cities>.
6. Kamolov S. G., Korneeva A.M. Technologies of the future for "smart cities" / / Bulletin of the Moscow State Regional University. Series: Economics. 2018. No. 2. P. 100-114.

УДК 538.446

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ И ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПОЖАРОВ В ЛЕСАХ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

В.С Захарова¹ студент, Л.А. Ничкова канд. техн. наук,
Г.А. Сигора канд. биол. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университет-ская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: zvaleriya09@gmail.com

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

³ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университет-ская, 33, г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, e-mail: sigora1@yandex.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются влияние антропогенных и природных факторов, приводящих к пожарам в лесах и населенных пунктах. Актуальность проблемы лесных пожаров - одна из наиболее важных в лесном хозяйстве России. Она требует решения целого спектра задач, связанных с управлением пожарами, а, следовательно, с совершенствованием службы охраны лесов, увеличением объемов противопожарных мероприятий и повышением их эффективности. Антропогенная пожарная опасность - это пожарная опасность для лесных массивов со стороны населения. Она зависит от уровня экологического образования населения, знаний правил пожарной безопасности, приобретения практических навыков применения огня в лесу. Из-за нарушения правил пожарной безопасности в лесах ежегодно возникают лесные пожары, которые приносят большой экономический и экологический ущерб. Антропогенная нагрузка является одним из основных факторов, определяющих число лесных пожаров, возникающих по вине людей. В настоящее время леса выступают в роли одного из главных механизмов, поддерживающих и восстанавливающих условия жизни на Земле. При этом самые серьезные отрицательные последствия на биосферу оказывают пожары, которые не только уничтожают лес, но и выбрасывают в атмосферу значительное количество углекислого газа, усиливая тем самым «парниковый эффект».

Ключевые слова: лесные пожары, управление пожарами, противопожарные мероприятия, антропогенные факторы, природные факторы, пожарная безопасность.

INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC AND NATURAL FACTORS ON THE OCCURRENCE OF FIRES IN FORESTS AND SETTLEMENTS

V.S. Zakharova¹ student, L.A. Nichkova Cand. tech. Sciences,
G.A. Sigora Cand. biol. sciences

¹ FSAEI HE "Sevastopol State University", st. Universitetskaya, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: zvaleriya09@gmail.com

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

³ FSAEI HE "Sevastopol State University", st. Universitetskaya, 33, Sevastopol, Russian Federation, 299053, e-mail: sigora1@yandex.ru

Abstract

This article examines the influence of anthropogenic and natural factors leading to fires in forests and settlements. The urgency of the problem of forest fires is one of the most important in the forestry of Russia. It requires the solution of a whole range of tasks related to fire management, and, consequently, with the improvement of forest protection services, an increase in the volume of fire-prevention measures and an increase in their efficiency. Anthropogenic fire hazard is a fire hazard for forest areas from the side of the population. It depends on the level of environmental education of the population, knowledge of fire safety rules, and the acquisition of practical skills in the use of fire in the forest. Because of the violation of fire safety rules, forest fires occur annually in forests, which cause great economic and environmental damage. Anthropogenic load is one of the main factors that determine the number of forest fires caused by people. At present, forests act as one of the main mechanisms that maintain and restore the conditions of life on Earth. At the same time, the most serious negative consequences for the biosphere are caused by fires, which not only destroy forests, but also emit a significant amount of carbon dioxide into the atmosphere, thereby increasing the "greenhouse effect".

Key words: forest fires, fire management, fire-prevention measures, anthropogenic factors, natural factors, fire safety

Лес является национальным богатством нашей страны. Площадь, покрытая лесом, составляет 45% от площади страны и 1/5 от запаса древесины всего мира. Лес является хранителем генетического разнообразия биосферы, обогащает кислородом атмосферу, является главным источником формирования климата, сохраняет и повышает плодородие почвы, регулирует и очищает водное пространство, основной элемент из реакционного потенциала, лес – это среда для жизни людей, является сырьевыми базами лесных и лесоперерабатывающих промышленности. Для этого охрана леса от пожаров является не только проблемой защиты окружающей среды, но и имеет огромное самостоятельное значение.

Ущерб от пожаров является катастрофическим для человечества, биосферы и атмосферы, и эта проблема является актуальной, так как человек постоянно сталкивается с пожарами. Так же страдает экономика от лесных пожаров, ущербы могут достигать до миллиардов рублей в год. Это стихия приводит к гибели людей, уничтожению жилья, и оказывает негативное влияние на здоровье людей [1].

Лесные пожары изменяют функционирование и состав лесов. Чтобы восстановить небольшую часть леса нежен не один десяток лет и не одно поколение лесничих. Урон от пожара увеличивается, если рядом с летом находится какой-либо промышленный объект. Но самой большой опасностью является тот случай, когда пожар подходит к населённым пунктам, он может стать причиной гибели людей. Причины пожара разные, например, природные стихии: грозные разряды и молнии, большинство лесных пожаров на нашей планете возникает всё же в результате человеческой деятельности.

Лесные пожары возникают по двум группам причин: антропогенным, естественным. По антропогенным возгорается примерно 90 % площади, остальное приходится на естественные причины. Антропогенные причины усиливаются под влиянием естественных, приводя к большей силе и скорости распространения огня. Этим объясняется наибольшая частота возгораний весной и летом при сухой погоде [2].

Исходя из вышесказанного составим структурную схему (рис. 1)



Рис. 1. Структурная схема влияния антропогенных и природных факторов на пожарную опасность леса.

Антропогенными факторами является деятельность человека, оказывающая влияние на окружающую среду. Места традиционного отдыха населения и окрестности поселков, обочины дорог автомобильных и железнодорожных, места лесозаготовок, включая дороги, по которым осуществляется вывозка древесины, размещение свалок ТКО являются основными источниками антропогенных пожаров. Рассмотрим каждый из фактов подробнее:

1) Дорожная сеть представляет собой не только угрозу лесным массивам, но и

обеспечивает проезд техники к возникшему возгоранию, что позволяет вовремя ликвидировать очаг. Дорожные сооружения имеют следующую классификацию: железные дороги, автомагистраль, автомобильная дорога и грунтовая дорога. Соответственно эти типы несут в себе и различную лесопожарную опасность.

2) Свалки ТКО чрезвычайно разнородны по составу: пищевые остатки, бумага, металлолом, резина, стекло, древесина, ткань, синтетические и другие вещества. Причиной возгорания на свалках является солнечная

радиация. Стекло хорошо преломляет и проводит свет, возникает эффект линзы.

3) Несоблюдением правил пожарной безопасности. Довольно часто началом пожара служит простое несоблюдение элементарных правил. Таким образом, случается так, что водитель может вытереть горловину бака с топливом лоскутом ткани и бросить его на землю, после чего проедет другой водитель и бросит туда же непотушенный окурок.

4) Непотушенный костер. Часто при отдыхе на природе люди не тушат костры после себя, либо по непредусмотрительности оставляют без внимания горящие угли.

5) Травяные палы приносят природе, хозяйству, здоровью и жизни людей существенный и разнообразный вред. Бесконтрольное сжигание прошлогодней травы и мусора доставляет немало хлопот пожарной охране. Сухая трава не является преградой для молодой поросли. Сжигая сухую траву, люди нарушают процесс образования перегноя и обедняют почвенное плодородие. Палы травы ослабляют рост растений [3].

Для решения проблемы лесных пожаров разработано большое количество специальных мероприятий. Противопожарные и профилактические действия планируются и проводятся обязательно в указанные сроки. От их качественного исполнения зависит вероятность возникновения очагов огня в лесах и распространения его по окружающей местности.

Охрана лесов от пожаров включает в себя следующие предупредительные работы:

- обязательная санитарная вырубка леса; она проводится по мере старения деревьев и поражения их короедами;
- зачистка участков леса от возможного возгорания; создаются минерализованные полосы, расстояние между которыми должно достигать шестидесяти метров; слой надпочвенного покрова между полосами выжигается;
- установка заградительных препятствий со средствами тушения пожара;
- строительство лесных дорог и посадочных площадок для спасательных вертолетов;
- обустройство водоёмов и подъездов к ним;
- отведение и благоустройство зон для отдыхающих граждан.

К природным факторам относятся: горючие материалы, рельеф местности, погодные условия и время года.

Горючие материалы - их вид, количество, состояние и распределение имеют основное значение в распространении лесных пожаров. Так, от пожарной зрелости (сухости) материалов, их количества, зависит скорость и интенсивность горения. Искусственные преграды (ручьи, реки, озера), разделяющие насаждения и горючие материалы, ограничивают распространение лесных пожаров.

Рельеф местности оказывает влияние на "созревание" горючих материалов, направление и скорость распространения горения. В горных условиях направление и скорость распространения пожара зависит от экспозиции и крутизны склонов. Пожар охотно распространяется вверх по склону и чем круче склон, тем выше скорость движения огня.

В равнинных условиях пожар распространяется, как правило, в направлении ветра, а при его отсутствии - равномерно во всех направлениях (при однородных горючих материалах).

Погодные условия имеют решающее значение - дожди и высокая влажность ограничивают или прекращают горение, сильные ветры способствуют распространению огня, тихая погода и понижение температуры воздуха, особенно в ночное время, стабилизируют горение. Сухая жаркая погода создает самые благоприятные условия для возникновения и распространения огня.

Время года (весна, лето, осень) оказывает влияние на интенсивность развития лесных пожаров. Продолжительность пожароопасного сезона (времени года, когда по условиям погоды могут возникать лесные пожары - период с момента схода снежного покрова до наступления осенней, устойчивой дождливой погоды или образования снежного покрова) в днях варьирует в довольно широких пределах и зависит от географической широты местности.

Наиболее часто массовые вспышки лесных пожаров возникают после прохождения "сухих" фронтальных гроз, развивающихся на малоподвижных холодных атмосферных фронтах. Как правило, им предшествует длительный сухой период, характеризующийся высокой температурой и низкой влажностью воздуха и лесных горючих материалов, т.е. высокой степенью пожарной опасности в лесу [4].

Влажность. В воздухе всегда присутствует влага в виде водяных паров. Количество влаги, содержащееся в воздухе, отражается на

влагосодержании горючих материалов. Влажность горючего материала - важный фактор, влияющий на ход тушения пожаров, поскольку сырой горючий материал, равно как и большинство видов зеленого горючего материала, не горит.

На сегодняшний день нет универсального метода борьбы с этой стихией. Причиной большинства загораний становится именно человек. Трудно представить, как жестоки бывают люди. Необходимо проводить пропаганду безопасного поведения в засушливую погоду в лесах, организовывать массовые добровольческие отряды волонтеров не только в период бушующей стихии, но и для расчистки лесов от сухостоя.

Последствия лесных пожаров:

1) На лесные экосистемы пожары влияют путем нарушения естественных связей, образующихся среди растений и животных в лесу. У животных меняются маршруты миграции – это происходит вынужденно из-за ухода из зоны возгорания. Кроме того, меняются места гнездования, а распространение пламени может воспрепятствовать эвакуации животных, что приводит к гибели от огня.

2) Деградация лесных массивов. Скорость уничтожения лесного покрова на Земле выше, чем скорость его восстановления. Даже с привлечением человека для посадки новых лесов природа не успевает восстановить утраченный покров. Это приводит к обезлесению и последующему опустыниванию территорий, что негативно сказывается на климате, экосистеме, распределении ресурсов.

3) Деградация почв. Наиболее уязвимое при пожарах место лесного массива – верхний слой почвы. При его уничтожении нарушаются процессы подпитки растений, произрастание корма для животных. Негативный эффект действует и в обратном направлении: при уничтожении деревьев

верхний слой перестает обогащаться палыми листьями, семенами. Это приводит к засухе в почве, эрозии, повышению кислотности из-за недостатка питательных веществ [5].

Среди многих проблем охраны и восстановления лесных экосистем, одна из наиболее актуальных, борьба с лесными пожарами. Важнейшей задачей лесного пожароуправления является совершенствование нормативных актов и внедрение в практику новых теоретических разработок по прогнозированию поведения природных пожаров, внедрение эффективных технологий и средств пожаротушения и использования огня.

Пожары, нанося огромный экономический ущерб, оказывают негативное влияние на экологию пострадавших регионов. Крупные пожары влияют на изменение климата, загрязняя атмосферу.

За нарушения правил пожарной безопасности в сфере лесопользования предусмотрена административная ответственность по статье 8.32 Кодекса об административных правонарушениях. При нанесении серьезного ущерба, повлекшего уничтожение лесного покрова предусмотрена уголовная ответственность по статье 261 Уголовного кодекса.

Конечно же, стоит не забывать и об элементарных правилах поведения в лесу – осторожно обращаться с огнём, не оставлять без присмотра горящий костер, не бросать непотушенные окурки. Климатические особенности в содружестве с халатностью человека могут привести к самым нежелательным последствиям, как для конкретных личностей, так и, в целом, для окружающей среды.

Можно бесконечно изучать всевозможные труды ученых, метеорологов, расспросить пожарных и составить статистические данные. Но, прежде всего, стоит начать с себя.

Список литературы:

1. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров. Пособие для лесных пожарных. Изд. 3 - е, перераб. и доп. – М.: ВНИИЛМ, 2002. – 104с.
2. Лесные пожары [Электронный ресурс] : статистика по мониторингу лесных пожаров. 1981-2010 / М-во чрезвычай. ситуаций Рос. Федерации по Нижегород. обл. – Н. Новгород, 1981-2010.
3. Пал сухой травы: опасность и ответственность [Электронный ресурс] – URL: <https://57.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/pozharoopasnyy-period/pamyatka/pal-suhoy-travy-opasnost-i-otvetstvennost> (дата обращения 29.01.2021)
4. Опасные факторы лесных пожаров [Электронный ресурс] – URL: https://vuzlit.ru/1889467/opasnye_faktory_lesnyh_pozharov (дата обращения 29.01.2021)
5. Почему возникают лесные пожары и как с ними борются [Электронный ресурс] – URL: https://cleanbin.ru/problems/forest-fires#Estestvennye_faktory (дата обращения 29.01.2021)

References

1. Shchetinsky E. A. Extinguishing forest fires. Manual for forest firefighters. Ed. 3rd, reprint. and add. – M.: VNIILM, 2002. – 104s.
2. Forest fires [Electronic resource]: statistics on monitoring forest fires. 1981-2010 / M-vo ekranich. I grew up. Federation for the Nizhny Novgorod region – N. Novgorod, 1981-2010.
3. Fallen dry grass: danger and responsibility [Electronic resource] - URL: <https://57.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/pozharoopasnyy-period/pamyatka/pal-suhoy-travy-opasnost-i-otvetstvennost> (accessed 29.01.2021)
4. Dangerous factors of forest fires [Electronic resource] - URL: https://vuzlit.ru/1889467/opasnye_faktery_lesnyh_pozharov (accessed 29.01.2021)
5. Why there are forest fires and how to fight them [Electronic resource] - URL: https://cleanbin.ru/problems/forest-fires/#Estestvennye_faktery (accessed 29.01.2021)

УДК 504.03

«ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛЕД» ТЕХНОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ГОРОДА СЕВАСТОПОЛЯ

Потапчук А. Ю.¹ магистрант, Сигора Г. А.² доцент

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 299002, РФ,
sasha.shipecheva@gmail.com

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, 99053, РФ,
sigoral@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматривается необходимость и возможность использования концепции экологического следа как индикатора устойчивого развития. В экологической сфере связь между деятельностью человека и его результатом в основном является опосредованной и нелинейной. На сегодняшний день люди не обладают достаточным количеством познаний, чтобы оценить масштабы своего ежедневного влияния на окружающую природную среду. Знания из области экологии способны изменить эту ситуацию, однако в силу своей специфики они не всегда доступны неспециалистам. Применение экологического следа как индикатора устойчивости позволяет переосмыслить индивидуальные привычки и ценностные ориентиры человеческого общества и оценить результаты экономической деятельности не только с позиции материальных выгод, но и с точки зрения экологии. Обладая информацией о том, как различные виды деятельности влияют на величину экологического следа, можно эффективно планировать мероприятия по охране окружающей среды и координировать усилия индивидов, организаций, государств по сбережению и восстановлению ресурсной базы планеты. На основе анализа международного опыта по оценке «экологического следа» произведен анонимный опрос жителей города Севастополь, относящихся к разной категории граждан по полу, возрасту, роду деятельности и экологической просвещенности, которые позволяют осуществлять адекватную оценку воздействия человека на окружающую природную среду.

Ключевые слова: природные ресурсы, охрана природы, экология, экологический след, биоемкость, глобальный сектор, индикатор, биопродуктивность, личное потребление, экологический кризис.

"ECOLOGICAL FOOTPRINT" OF THE TECHNOGENIC SYSTEM OF THE CITY OF SEVASTOPOL

A. Y. Potapchuk¹ master's student, G. A. Sigora² associate professor

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 299002, Russian Federation, sasha.shipecheva@gmail.com

² FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 99053, Russian Federation, sigoral@yandex.ru

Abstract

The article considers the necessity and possibility of using the concept of ecological footprint as an indicator of sustainable development. In the environmental sphere, the relationship between human activity and its outcome is mostly indirect and non-linear. Today, people do not have enough knowledge to assess the extent of their daily impact on the natural environment. Knowledge from the field of ecology can change this situation, but due to its specificity, it is not always available to non-specialists. The use of the ecological footprint as an indicator of sustainability allows us to rethink individual habits and value orientations of human society and evaluate the results of economic activity not only

from the point of view of material benefits, but also from the point of view of ecology. With information on how different activities affect the size of the ecological footprint, it is possible to effectively plan environmental protection measures and coordinate the efforts of individuals, organizations, and States to save and restore the planet's resource base. Based on the analysis of international experience in assessing the "ecological footprint", an anonymous survey was conducted of residents of the city of Sevastopol, who belong to different categories of citizens by gender, age, type of activity and environmental awareness, which allow for an adequate assessment of the human impact on the environment.

Keywords: natural resources, nature protection, ecology, ecological footprint, bio-intensity, global hectare, indicator, bio-productivity, personal consumption, environmental crisis.

1. Введение

Проблема рационального использования природных ресурсов, охрана природы от разрушительных последствий хозяйственной деятельности человека приобрели огромное государственное значение в Российской Федерации. На сегодняшний день спрос человечества на природные ресурсы – наш экологический след – превышает способность Земли к восстановлению – ее биоемкость. Сегодня человечество потребляет на 50% больше того, что биосфера в состоянии восполнить. Если современные тенденции спроса сохранятся, то к 2050 году люди будут использовать экологические ресурсы и услуги, на которые требуется почти три такие планеты, как Земля.

2. Основной текст

Экологический след – это площадь биологически продуктивной территории и акватории, необходимой для производства потребляемых человеком ресурсов и поглощения отходов. Главным видом отходов, который учитывает Система национальных экологических счетов, является двуокись углерода, образующаяся при сжигании ископаемого топлива. Величина экологического следа выражается в универсальных стандартизованных единицах измерения – глобальных гектарах (гга).

Глобальный гектар – это условная единица, обозначающая гектар биологически продуктивной территории или акватории со средним мировым показателем биопродуктивности за определенный год. [1]

Целью применения данного показателя является измерение воздействия человечества на биосферу и ресурсы планеты, отражающая скорость потребления природных запасов.

Цель измерения индикатора – возможность отследить динамику изменений. Благодаря этому субъекты (например, страны) могут оценить вектор своего развития, а также выработать меры достижения более высоких

показателей социально-экономического развития без ущерба для местных экосистем.

Экологический след, приходящийся на одного человека, представляет собой сумму шести слагаемых:

- площадь пашни для выращивания, потребляемых человеком зерновых;
- площадь пастбищ для производства продукции животноводства;
- площадь лесов для производства древесины и бумаги;
- площадь моря для производства рыбы и морепродуктов;
- площадь, занятая под жилье и инфраструктуру территории;
- площадь лесов для абсорбции выбросов CO₂, образующихся при душевом потреблении энергии.

Экологический след представляет собой сумму всех этих площадей независимо от того, где именно на планете они находятся.

Для упрощения расчётов и в связи со сложностью сбора данных в качестве главного вида отходов названа диоксид углерода (CO₂), образующаяся при сжигании ископаемого топлива. При расчётах экологического следа также учитываются необходимые человеку пашни, пастбища, леса и застраиваемые земли, предназначенные для возведения зданий и строительства дорог. [2]

Идея «экологического следа» была предложена в 1992 году Уильямом Ризом [3][4] и в дальнейшем получила развитие в написанной под руководством Риза диссертации Матиса Вакернагеля [5]. Первоначально исследователи использовали понятие «адаптированной пропускной способности» (англ. appropriated carrying capacity), но позднее, чтобы сделать идею более доступной, Риз предложил термин «экологический след». В 1995 году Вакернагель и Риз издали книгу «Наш экологический след: Снижение антропогенного воздействия на Землю» [6][7]. Концепция расчёта экологического следа быстро распространилось благодаря регулярным докладом Всемирного фонда

дикой природы (WWF) «Живая планета» (Living Planet Report).

В 2003 году с целью согласования методологии и координации исследований была создана Глобальная сеть экологического следа (Global Footprint Network). Она объединила в своих рядах представителей научных и правительственных кругов, бизнеса, общественности, которые рассчитывают экологические следы целых государств, определяя масштабы негативного воздействия человека на биосферу [8]. Работу по расчёту экологического следа ведут и эксперты отдельных стран, в том числе в России — эксперты WWF. Данные об экологическом следе и биоёмкости отдельных регионов, совместно рассчитанные Всемирным фондом дикой природы и Глобальной сетью экологического следа, позволяют оценить устойчивость развития территорий и предоставляют органам власти и представителям бизнеса инструмент для оценки эффективности в области устойчивого развития. [1].

Уильям Рис предложил первый простой расчет, основанный на математической сумме следующих биопродуктивных областей:

- почва, использованная под строительство;
- «энергетическая почва» (площадь, необходимая для выращивания биомассы, эквивалентная потребляемой энергии, а также более подробный расчет поглощения CO₂;
- экосистемы (наземные и водные), необходимые для производства продуктов питания;
- почва, необходимая для производства древесины или других лесных продуктов.

Этот расчет производит «отпечаток», переведенный на гектарный эквивалент потребленных биопродуктов, четко указывающий на связь между населением, состоянием развития (с использованием большего или меньшего количества ресурсов) и устойчивостью развития.

Для эффективности оценки в расчет необходимо включить некоторые показатели, такие как:

- вывоз или последующая переработка отходов;
- систематическое или случайное попадание токсинов в воздух, почву, океан или пищевые цепи;
- повреждение, опустынивание, засоление и потеря почвы;
- продолжающееся загрязнение почв;
- экологический кризис.

По данным Глобальной сети экологического следа был создан рейтинг 10 стран мира по показателю «экологический след» (Таблица 1).

Таблица 1. Рейтинг стран по показателю «экологический след»

№	Страна	Общий экологический след населения страны, глобальный гектар
1.	Китай	5 350 000 000
2.	Соединенные Штаты Америки	2 610 000 000
3.	Индия	1 600 000 000
4.	Российская Федерация	788 000 000
5.	Япония	593 000 000
6.	Бразилия	588 000 000
7.	Индонезия	439 000 000
8.	Германия	386 000 000
9.	Мексика	339 000 000
10.	Республика Корея	315 000 000

Российский экологический след складывается, главным образом, из выбросов CO₂, далее по значимости следуют использование пахотных угодий, лесов, и на затем — скотоводство, рыболовство и строительство. Экологический след таких стран, как Соединенные Штаты Америки (далее — США), Китай, Украина, также состоит главным образом из углеродного следа. Однако не во всех странах аналогичная ситуация. В Индонезии, например, первостепенную роль играет сельское хозяйство, а в Бразилии — сельское хозяйство и скотоводство.

Российский след личного потребления складывается, в основном, из жилищно-коммунальных услуг (далее — ЖКУ), продовольствия (за счет большого импорта), транспорта, непродовольственных товаров и на последнем месте — услуг. Для сравнения, в США экологический след складывается, в первую очередь, из ЖКУ, транспорта и непродовольственных товаров, следом идут продовольственные товары и услуги. А вот в Китае, Бразилии, Индонезии, Индии и многих других странах большая доля экологического следа личного потребления приходится на продукты питания. Однако ЖКУ в этих странах, в связи с более теплым климатом и рядом других факторов, играет значительно меньшую роль.

В рамках изучения данной темы был проведен анонимный опрос 50 человек разной возрастной и половой групп, имеющие разный род деятельности и уровень экологического просвещения. В опросе приняли участие следующие категории людей:

- 1) возраст от 19 до 75 лет;
- 2) пол: мужской и женский;
- 3) род деятельности: студенты ФГАОУ ВО «СевГУ», сотрудники ФГАОУ ВО «СевГУ», военнослужащие, сотрудники Главного управления природных ресурсов и экологии г. Севастополя, торговые представители по Республике Крым, риелторы, инженеры кадастровых служб, врачи, медсестры и пенсионеры.

- 4) уровень экологического просвещения: условно от 0 (иногда читают новости в сфере экологии) до 5 (напрямую связаны с данной деятельностью).

В ходе эксперимента были получены следующие данные:

- значения показателя «Экологический след» находятся в обратно пропорциональной зависимости от уровня экологической просвещенности и возраста людей.

Военнослужащие в возрасте от 25 до 35 лет имеют максимальное значение – 13,75 общих га на человека в год, наименьший результат у пенсионеров от 55 до 75 лет – 1,2 общих га на человека в год. Средний показатель составляет 7 общих га на человека в год, это свидетельствует о том, что если бы все население Земли так жили, то им потребовалось бы 4 планеты. Критерии показателя «Экологического следа» для удобства были сведены в диаграмму, представленную ниже. Показатели включают в себя: результат потребления электроэнергии – 15 %, жилье – 20 %, транспорт – 30 %, бытовые отходы составили – 20 %, использование воды – 10 % и продукты питания – 5% рис. 1.



Рис. 1. Критерии показателя «Экологический след»

3. Заключение

Экологический след РФ на 2020 год составил 3,5 глобальных гектар. При проведении опроса в рамках изученной темы данный показатель составил 7 гга, что превышает среднее значение на территории нашей страны в два раза. Полученные значения зависят от ряда факторов, описанных выше. Главными из которых является пользование ЖКУ, транспортом, потребление продовольственных товаров.

Севастополь инфраструктурно развитый город, численность населения по последним данным превышает 500 000 человек. Городское население составляет 93%, сельское – 7%.

Следует учесть, что на территории РФ более 25% населения страны проживают в сельской местности, где оказываемое давление на окружающую среду значительно меньше, чем на урбанизированной территории.

Вероятно, полученные результаты связаны с меньшим процентом сельского населения, чем в целом на территории страны, большим потреблением электроэнергии, с несовершенством системы обращения с бытовыми отходами, а также из-за географических особенностей - территория города обладает значительными транспортными потоками и видовым разнообразием транспортных средств (личный автотранспорт, автобусы, катера, троллейбусы и т.д.), что оказывает существенное антропогенное воздействие.

Список литературы

1. Экологический след субъектов Российской Федерации. [Электронные ресурсы]: электронный журнал. 2016. № 2. URL: www.wwf.ru (дата обращения 12 октября 2020 г.)
2. New Scientist Environment Blog: Fred's Footprint: Measuring our global impact. [Электронные ресурсы]: электронный журнал. 2020. URL: www.newscientist.com (дата обращения 12 октября 2020 г.)
3. Mike Gismondi. William Rees: Ecological Footprints (англ.) // Aurora [Текст]. — 2006-10-23. — Vol. 0, iss. 0.
4. William Rees | SCARP | UBC School of Community and Regional Planning. [Электронные ресурсы]: электронный журнал. 2020. URL: www.scarp.ubc.ca (дата обращения 13 октября 2020 г.)
5. Meet the Bookkeeper: An Interview with Mathis Wackernagel of Global Footprint Network. TreeHugger [Текст].
6. William E. Rees. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out // Environment and Urbanization [Текст]. — 1992-10-01. — Vol. 4, iss. 2. — P. 121–130. — ISSN 1746-0301 0956-2478, 1746-0301. — doi:10.1177/095624789200400212.
7. Mathis Wackernagel. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: a tool for planning toward sustainability [Текст]. — 1994-01-01.

References

1. Ecological footprint of objects of the Russian Federation. [Electronic resources]: electronic journal. 2016. No. 2. URL: www.wwf.ru (accessed October 12, 2020)
2. New Scientist Environment Blog: Fred's Footprint: Measuring our global impact. [Electronic resources]: electronic journal. 2020. URL: www.newscientist.com (accessed October 12, 2020)
3. Mike Gismondi. William Rees: Ecological fingerprints (English // Aurora [Text]. — 2006-10-23. — Vol. 0, iss. 0.
4. William Rees | SCARP | UBC School of Community and Regional Planning. [Electronic resources]: electronic journal. 2020. URL: www.scarp.ubc.ca (accessed October 13, 2020)
5. Meet the Bookkeeper: An Interview with Mathis Wackernagel of Global Footprint Network. Lyrics By TreeHugger.
6. William E. Rees. Environmental prints and applicable load capacity: what urban economics leaves behind // environment and urbanization [Text]. — 1992-10-01. — Vol. 4, iss. 2. — P. 121–130. — ISSN 1746-0301 0956-2478, 1746-0301. — doi:10.1177/095624789200400212.
7. Mathis Wackernagel. Environmental footprint and appropriate carrying capacity: a tool for planning sustainable tower development [Text]. — 1994-01-01.

УДК 504.4.054:628.19

АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ПРОБЛЕМЫ ДЕФИЦИТА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В ГОРОДЕ СЕВАСТОПОЛЕ

Т.Ю. Хоменко¹ аспирант, Г.А. Сигора² канд. биол. наук, доцент

^{1,2}ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru

Аннотация

После перекрытия Украиной Северо-Крымского канала, засушливого лета 2020 года проблема дефицита питьевой воды в Крыму и городе Севастополе обозначила себя особо остро. С 2014 года активно начали обсуждать механизмы, которые помогли бы избежать критической ситуации с подачей питьевой воды. Целью данной статьи является анализ решений проблем водоснабжения в городе Севастополе. Рассмотрено несколько перспективных вариантов решения проблемы дефицита воды, таких как: создание новых и резервных водохранилищ; глобальное обновление сетей «Водоканала»; разработка технологий по очистке сточных и бытовых вод; выведение специальных сельскохозяйственных культур; опреснение морской воды; бурение новых и аудит законсервированных скважин; использование альтернативных источников водоснабжения.

В статье также рассмотрены современные исследования ведущих ученых Крыма и Севастополя, связанные с применением дистилляционного метода для опреснения морской воды Черного моря, с поиском и добычей уникальных потоков подземных вод, которые формируются на глубине 350-500 м в «природных опреснителях» при интенсивном испарении поступающей к ним морской воды, с разработкой интерактивной экологической картой родников Севастопольского региона - альтернативных источников водоснабжения в быту и сельскохозяйственной деятельности.

Проведенный анализ показывает, что эффективным способом решения проблемы нехватки пресной воды будет являться комплексное или комбинированное применение рассмотренных вариантов.

Ключевые слова: питьевая вода, дефицит, город Севастополь, анализ, решения проблемы, научные исследования, опреснение, альтернативные источники водоснабжения.

ANALYSIS OF SOLUTIONS TO THE PROBLEM OF DRINKING WATER SHORTAGE IN THE CITY OF SEVASTOPOL

T.Yu. Khomenko¹ graduate student,
G.A. Sigora² candidate of biological sciences, docent

^{1,2} Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation,
e-mail: tamara_homenko93@mail.ru

Abstract

After Ukraine closed the North Crimean Canal in the dry summer of 2020, the problem of the shortage of drinking water in Crimea and the city of Sevastopol became especially acute. Since 2014, they actively began to discuss mechanisms that would help avoid a critical situation with the supply of drinking water. The purpose of this article is to analyze solutions to water supply problems in the city of Sevastopol. Several promising options for solving the problem of water shortage were considered, such as: creation of new and reserve reservoirs; global renewal of Vodokanal's networks; development of technologies for the treatment of waste and domestic water; breeding of special crops; desalination of sea water; drilling new and audit of suspended wells; use of alternative sources of water supply.

The article also discusses modern research by leading scientists of Crimea and Sevastopol, associated with the use of the distillation method for desalination of the Black Sea sea water, with the search and extraction of unique streams of groundwater, which are formed at a depth of 350-500 m in "natural desalination plants" with intense evaporation of the incoming to them sea water, with the development of an interactive ecological map of the springs of the Sevastopol region - alternative sources of water supply in everyday life and agricultural activities.

The analysis shows that an effective way to solve the problem of lack of fresh water will be an integrated or combined application of the options considered.

Keywords: drinking water, deficit, the city of Sevastopol, analysis, solutions to the problem, research, desalination, alternative sources of water supply.

1. Введение

Вода - самый важный из вовлекаемых в хозяйственную деятельность человека природных ресурсов. По объему ежегодного использования она намного превосходит все вместе взятые другие добываемые ресурсы.

Вода обеспечивает три важнейшие для человечества функции: 1) питьевое водопотребление и удовлетворение санитарно-гигиенических потребностей; 2) производство продовольствия; 3) производство энергии и промышленной продукции. Неудивительно, что беспрецедентный рост мировой экономики в XXI веке, демографический взрыв, сопутствующее этому увеличение антропогенной нагрузки на экосистемы и природные водные объекты стали причиной возникновения дефицита воды во многих регионах мира. Конечно, с проблемой нехватки пресной воды человечество знакомо едва ли не с момента своего возникновения, но ее сегодняшние масштабы совершенно беспрецедентны.

По статистике, практически 1/5 часть мирового населения живёт в районах, в которых наблюдается серьёзная нехватка чистой питьевой воды. Кроме того, 1/4 населения живёт в развивающихся странах, которые испытывают дефицит воды из-за

отсутствия инфраструктуры, необходимой для её забора из водоносных пластов и рек [1].

Потребности в воде для разных целей непрерывно растут, увеличивая антропогенное давление на водные ресурсы и акваэкосистемы. Многие регионы испытывают хронический недостаток воды, в других случаются нерегулярные, но достаточно частые и продолжительные засухи, которые приводят к локальному водному кризису.

К последним можно отнести Крымский регион и город федерального значения Севастополь.

В результате блокады Северо-Крымского канала в 2014 году регион потерял 74% источников пресной воды. Однако, за последние шесть лет после присоединения полуострова к России, проблема нехватки питьевой воды еще не стояла столь остро, как сейчас.

После засушливого летнего сезона и аномально жарких осенних месяцев 2020 года, когда продолжительное отсутствие осадков на полуострове привело к пересыханию водохранилищ и рек, более 40 населенных пунктов, включая столицу Крыма – Симферополь, были переведены на почасовую подачу воды. Для Крыма 2020 год стал одним из самых засушливых за последние 150 лет [2]. Ситуацию также усугубляет значительные

водопотери, которые в Крыму достигают 80% при среднем по стране уровне в 20–30%.

Жители Севастополя уже имели опыт жизни в режиме чрезвычайного положения в связи с резким обмелением Чернореченского водохранилища — главного источника городских водных ресурсов. Причиной послужило крайне жаркое и засушливое лето 2014 года. Тогда уровень воды в Черноречье максимально приблизился к критической отметке.

2020 год для Севастопольского региона также является маловодным. Ряд погодных факторов стал причиной обмеления реки Черной, в связи с чем приток воды в Чернореченское водохранилище был фактически остановлен.

Целью данной статьи является анализ решений проблем нехватки питьевой воды в городе Севастополе.

2. Основной материал

До недавнего времени (октябрь 2020 год) рассматривался только один вариант решения данной проблемы: создание ковшевого водозабора на реке Коккозка (протекает через Большой каньон Крыма и является притоком р. Бельбек) и прокладку напорных трубопроводов силами Министерства обороны РФ. Подобную схему водоснабжения можно было бы реализовать только в том случае, если бы река Коккозка была достаточно полноводной, чтобы питать и Бахчисарайский район, и Севастополь. Кроме того, геологи предупреждали, что любые строительные работы в сейсмоопасной и нестабильной зоне могут привести к исчезновению питьевой воды не только в Бельбекской, но и в соседней Байдарской долине. А экологи уверяют, что сбор паводковых вод приведет к нарушению режима реки: ниже по течению начнет ощущаться недостаток влаги, пересохнут деревья, обмелеют колодцы. Проект по переброске воды на Севастополь из реки Коккозка, против которого также активно выступали жители Бахчисарайского района, был закрыт [3].

Временным решением проблемы с водоснабжением в городе Севастополе стала переброска воды из Кадыковского карьера, проект которого был реализован в декабре 2020 года (рис. 1).

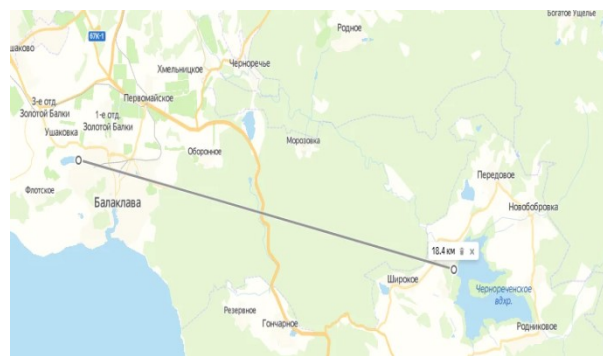


Рис. 1. Карта месторасположения Кадыковского карьера и Чернореченского водохранилища

Объем Кадыковского карьера - около 4,2 миллиона кубометров, зеркало воды на 14 метров ниже уровня моря. За два с половиной месяца военные соединили Кадыковский карьер и реку Черная водоводом, протяженностью выше десяти километров. Суммарно было установлено шесть насосов: четыре основных, два резервных. Производительность насосов 600 метров кубических в час, что составляет 15000 кубических метров в сутки. Специалисты утверждают, что запасов воды на Кадыковском карьере хватит почти на год, но оно активно пополняется за счет подземных ключей. Также, кроме Кадыковского, водохранилище Севастополя подпитывает Инкерманский карьер и озеро у горы Гасфорта.

Мировая практика показывает, что главный путь решения проблемы чистой пресной воды заключается в проведении комплексных инженерных изысканий и профилактических мероприятий, направленных на удешевление процесса очистки, а также восстановление и освоение новых источников.

Рассмотрим несколько перспективных вариантов решения проблемы дефицита питьевой воды в городе Севастополе.

- *Создание новых и резервных водохранилищ.*

Объектом резервного водоснабжения города Севастополя должен стать водозабор на реке Бельбек. Он будет состоять из накопительного бассейна емкостью 150 тысяч кубометров, водомерного узла, линейного водовода и сопутствующей инженерной инфраструктуры. Строительство масштабного проекта планируют завершить к марту 2021 года.

- *Глобальное обновление сетей «Водоканала».*

Утечки воды в сетях водоснабжения влекут за собой перерасход ресурсов, существенные затраты на ремонт, перерывы в обеспечении потребителей водой и ухудшение ее качества. В Севастополе потери в сетях составляют около 30%. Это расходы воды при авариях на водопроводной сети до локализации повреждения; расход воды при утечке через водоразборные колонки; скрытые утечки. За последние шесть лет были заменены более 60 км труб на более критических участках. В 2021 году планируется замена 50 км трубопроводов.

- *Разработка технологий по очистке сточных и бытовых вод.*

Сточные воды - это дополнительно порядка 150 млн кубометров воды. Так как сельское хозяйство потребляет очень значительное количество водных ресурсов, эти воды можно использовать для полива с/х растений, парков, скверов, многолетних растений. Это даст возможность увеличить площадь орошения на 10-15 тыс. га [4]. Такая практика применима не во всех случаях, но при использовании дает эффективный результат. Также рабочие очистительные системы позволяют применять используемую воду для своих нужд несколько раз. Хозяйственно-бытовые и сточные воды должны подлежать переработке и очистке. Это позволяет экономить значительное количество пресной воды.

- *Выведение специальных сельскохозяйственных культур.*

В условиях дефицита воды в Крыму необходима также смена культур в аграрном секторе, которые могут расти в засушливых районах и требуют минимального полива. Также в сельском хозяйстве применяют технологию капельного полива, когда вода подводится напрямую к корням растений. Это позволяет уменьшить расход воды в несколько раз. Для сохранения влаги на с/х угодьях требуется также высаживать защитные лесопосадки, которых ранее на полуострове насчитывалось более 30 тысяч.

- *Опреснение морской воды.*

Серьезную научно-исследовательскую работу в этой области ведут не только экологические организации, но химики, инженеры и другие специалисты со всего мира. Опреснение морской воды до питьевой бывает двух типов: термическое и мембранное. Термическая очистка или выпаривание морской воды требует большого количества энергии. Самыми распространёнными технологиями опреснения воды на сегодняшний день являются особые

мембраны, разделяющие воду и соль при помощи эффекта обратного осмоса.

Крупные опреснительные заводы обязательно строят в связке с атомными электростанциями, что является проблематичным в условиях Севастопольского региона.

Длительный опыт работы (свыше 7 лет) мембранного опреснителя морской воды в «Винтаж-отель Новый Свет», произведённого на одном из симферопольских предприятий ещё при Украине, открывает хорошие перспективы применения подобных установок для покрытия потребностей в чистой воде небольших посёлков и отдельных хозяйств. Но, в промышленном масштабе мембранный метод очень энергозатратен, дорогой и влечет повешение стоимости традиционного водоснабжения в три и более раза.

С 2015-2019 года сотрудниками ФГАОУ ВО «Севастопольского государственного университета» совместно с ФГАОУ ВО «Самарским национальным исследовательским университетом имени академика С.П. Королёва» проводилась научно-исследовательская работа «Исследование и разработка установок для опреснения морской воды и получения дистиллята из сточных вод производительностью до 10 м куб./час». В процессе исследования разработана технологическая схема станции приготовления питьевой воды из вод Чёрного моря, представленная на рисунке 2.



Рис. 2. Технологическая схема станции приготовления питьевой воды из вод Чёрного моря

По разработанному ряду критериев был выбран дистилляционный метод, который относится к достаточно дешевым крупномасштабным способам получения качественной опресненной воды. Результаты данного исследования представлены в многочисленных публикациях [5-8].

Для принятия решения о масштабном строительстве опреснительных станций необходимо экологическое обоснование и

точное понимание, что делать с рассолами, которые остаются в результате опреснения.

- *Бурение новых и аудит законсервированных скважин.*

Оценка возможности использования законсервированных скважин требует применение современных технологий повышения дебита. Многие из них могут быть обрушены или непригодны для забора воды. Тем не менее, это поможет создать резервный запас, который при правильном использовании, поможет городу пережить засушливые сезоны.

Бурение новых скважин требует проведения геологической разведки. Но с учетом того, что ученые Крыма и Севастополя исследовали крымские горы и пришли к выводу, что все они содержат большие запасы подземных пресных вод, этот вариант является более чем перспективным.

Ученые установили, что по сети тектонических разломов на глубинах 900—1100 м происходит миграция больших объемов высоконапорных подземных пресных вод с температурой 80—85 градусов. На глубинах от 350 до 500 м также имеются водные потоки, мигрирующие по тектоническим разломам через всю территорию Крыма. Уникальность этих потоков подземных вод в том, что они формируются в «природных опреснителях» при интенсивном испарении поступающей к ним морской воды. Образование пресных вод идет непрерывно за счёт конденсации пара в пористых карстовых породах, независимо от природных осадков и времени года. Основной проблемой добычи глубоких подземных вод является высокая стоимость бурения скважин, что сдерживает их использование [9].

Однако, нельзя забывать, что любой источник должен быть обследован сотрудниками санитарно-эпидемиологического контроля и пройти химическую, микробиологическую, радиологическую экспертизу.

- *Использование альтернативных источников водоснабжения.*

Родниковые и подземные источники сегодня являются альтернативным источником питьевой воды для сельских жителей региона.

Оценкой качества подземных вод Севастопольского региона занимается

коллектив кафедры «Техносферной безопасности» Севастопольского государственного университета (СевГУ).

За период с января 2019 по ноябрь 2020 года исследовано 84 источника подземных вод (включая родники, скважины, колодцы) по 28 показателям качества: органолептические свойства воды, обобщённые показатели (рН, минерализация (сухой остаток), щёлочность свободная и общая, жёсткость общая, окисляемость перманганатная), анионный и катионный состав. Всего отобрано и исследовано 307 проб подземных вод каптированных и некаптированных родников, колодцев и водозаборных скважин.

По результатам исследований разработаны критерии ранжирования качества родниковых вод, согласно которым все исследуемые родники были разделены на три группы: «чистые», «условно чистые» и «загрязнённые». Установлено, что доля «загрязнённых» источников составляет около 40%, к группе «условно чистые» относятся 26% исследуемых источников, к группе «чистые» - 34%.

Результатом проведённых исследований стала интерактивная экологическая карта родников Севастопольского региона (рис. 3), где в удобной форме представлена вся полученная в ходе лабораторных анализов информация о качестве и степени загрязнённости каждого из отдельных источников (<https://sevrodnik.ru>) [10-13].

По химическому составу родниковые воды, отнесенные к группе «чистые» не отличаются от водопроводной воды. Их можно использовать в быту и в сельскохозяйственной деятельности. Также в промышленности разрешено использование слабо минерализованных вод, которые содержат минеральные соли в минимальном количестве. Родниковая вода группы «чистые» и «условно чистые» как раз подходит под эти критерии. Причем на разных предприятиях ее можно использовать как: охлаждающая вода, оборотная, техническая, вода как теплоноситель, вода для промывки. Необходимым остается определить, в каком направлении и как использовать этот резервный запас.

КАРТА РОДНИКОВ СЕВАСТОПОЛЯ

интерактивный режим

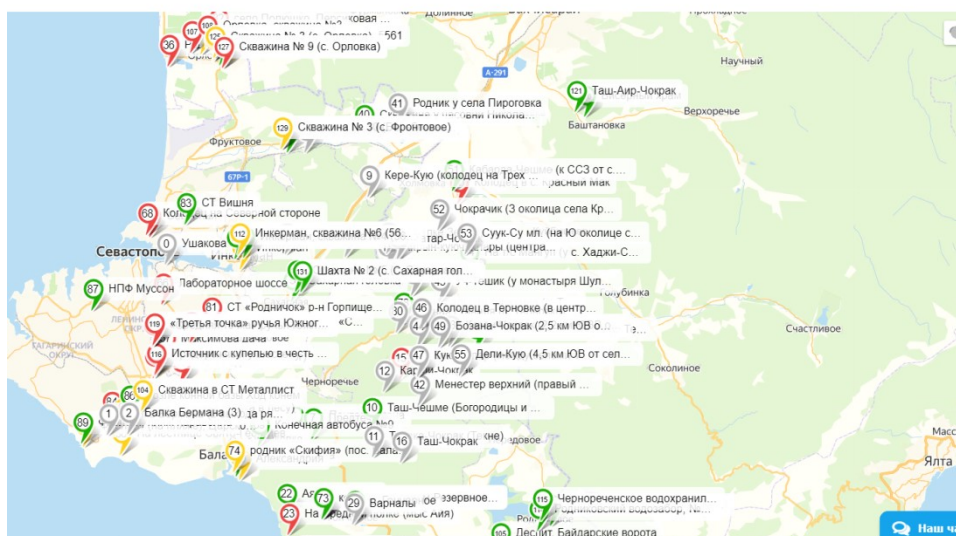


Рис. 3. Интерактивная экологическая карта родников Севастопольского региона

Заключение

Проблема дефицита воды в Севастополе решается, но её объёмы и сложность требуют серьёзной и длительной подготовки, а также тщательной оценки рентабельности ввода в

строй новых объектов водоснабжения. Бесспорно, эффективным способом решения данной проблемы будет являться комплексное или комбинированное применение рассмотренных выше вариантов.

Список литературы

1. РИА Новости. Официальный портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20100322/215718166.html>
2. Настоящее время. Информационный портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.currenttime.tv/>
3. РИА Новости. Официальный портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://goo.su/412N>
4. Комсомольская правда в Севастополе. Электронная газета. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sevastopol.kp.ru/daily/27145.5/4239577/>
5. Бирюк В.В. Анализ методов и принципов работы установок для опреснения морской воды в Крымском регионе / В.В. Бирюк, Сигора Г.А., Ничкова Л.А., Хоменко Т.Ю. и др. // ВЕСТНИК Брестского государственного технического университета. Машиностроение. – 2016. - № 4(100). – С. 18-22.
6. Сигора Г.А. Выбор оптимальной системы опреснения морской воды для Крымского региона / Г.А. Сигора, Л.А. Ничкова, Т.Ю. Хоменко // ВЕСТНИК Современных технологий. – 2017. - № 4(8). – С. 48-55.
7. Ничкова Л.А. Optimization of the seawater desalination method for a certain region / Л.А. Ничкова, Г.А. Сигора, Т.Ю. Хоменко, В.В. Бирюк // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. \ 2019.
8. Сигора Г.А. Preparing the distillate for drinking: chemical and ecological aspects / Г.А. Сигора, Л.А. Ничкова, Т.Ю. Хоменко, М.Ю. Анисимов // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. - 2019.
9. Ковалев Н.И. Исследование подземных сквозных водоносных потоков пресных вод на территории АР Крым / Н.И. Ковалев, Л.И. Лукина, В.С. Паштецкий и др. // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Под редакцией Л.И. Лукиной, Н.В. Ляминой. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ, ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. – 2019. – С. 780-788.
10. Сигора Г.А., Хоменко Т.Ю., Ляшко Т.В., Ничкова Л.А. Проблема исследования экологического состояния родников Севастопольского региона // Экономика строительства и природопользования, Симферополь. - 2019. - № 1(70). - С. 115-123.
11. Сигора Г.А., Хоменко Т.Ю., Ляшко Т.В., Шевцова Ж.А., Ничкова Л.А. Критерии ранжирования качества родниковых вод Севастопольского региона // Экономика строительства и природопользования, Симферополь. - 2019. - № 4 (73). - С. 16-23.
12. Сигора Г.А., Хоменко Т.Ю., Ничкова Л.А. Проблемы обеспечения экологически безопасного состояния в рекреационных зонах г. Севастополя // Экономика строительства и природопользования, Симферополь. - 2020. - № 2(75). - С. 125-132.
13. Сигора Г.А., Хоменко Т.Ю., Ничкова Л.А. Разработка методического обеспечения экологического мониторинга подземных вод Севастопольской области // Системы контроля окружающей среды. – 2020. - № 2 (40). – С. 5-12.

References

1. RIA Novosti. Official portal. [Electronic resource]. - Access mode: <https://ria.ru/20100322/215718166.html>
2. Present time. Informational portal. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.currenttime.tv/>
3. RIA Novosti. Official portal. [Electronic resource]. - Access mode: <https://goo.su/412N>
4. Komsomolskaya Pravda in Sevastopol. Electronic newspaper. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.sevastopol.kp.ru/daily/27145.5/4239577/>
5. Biryuk V.V. Analysis of methods and principles of operation of installations for desalination of sea water in the Crimean region / V.V. Biryuk, Sigora G.A., Nichkova L.A., Khomenko T.Yu. and others // BULLETIN of the Brest State Technical University. Mechanical engineering. - 2016. - No. 4 (100). - S. 18-22.
6. Sigora G.A. The choice of the optimal system for desalination of sea water for the Crimean region / G.A. Sigora, L.A. Nichkova, T.Yu. Khomenko // BULLETIN of Modern Technologies. - 2017. - No. 4 (8). - S. 48-55.
7. Nichkova L.A. Optimization of the seawater desalination method for a certain region / L.A. Nichkova, G.A. Sigora, T.Yu. Khomenko, V.V. Biryuk // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. \ 2019.
8. Sigora G.A. Preparing the distillate for drinking: chemical and ecological aspects / G.A. Sigora, L.A. Nichkova, T.Yu. Khomenko, M. Yu. Anisimov // IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE. - 2019.
9. Kovalev N.I. Investigation of underground through water-bearing streams of fresh water in the territory of the Autonomous Republic of Crimea / N.I. Kovalev, L.I. Lukin, V.S. Pashtetsky et al. // Collection of articles based on the materials of the international scientific and practical conference. Edited by L.I. Lukina, N.V. Lyamina. ECOLOGICAL, INDUSTRIAL AND ENERGY SAFETY. - 2019.- S. 780-788.
10. Sigora G.A., Khomenko T.Yu., Lyashko T.V., Nichkova L.A. The problem of studying the ecological state of the springs of the Sevastopol region // Economy of construction and environmental management, Simferopol. - 2019. - No. 1 (70). - S. 115-123.
11. Sigora G.A., Khomenko T.Yu., Lyashko T.V., Shevtsova Zh.A., Nichkova L.A. Criteria for ranking the quality of spring waters in the Sevastopol region // Economy of construction and environmental management, Simferopol. - 2019. - No. 4 (73). - S. 16-23.
12. Sigora G.A., Khomenko T.Yu., Nichkova L.A. Problems of ensuring an ecologically safe state in the recreational zones of Sevastopol // Economics of construction and environmental management, Simferopol. - 2020. - No. 2 (75). - S. 125-132.
13. Sigora G.A., Khomenko T.Yu., Nichkova L.A. Development of methodological support for environmental monitoring of groundwater in the Sevastopol region // Environmental control systems. - 2020. - No. 2 (40). - S. 5-12.

УДК 614.8.084

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ТРАВМАТИЗМ В КРЫМУ

Т.Ю. Хоменко¹ аспирант, ст. преп., А.С. Юрченко² аспирант, Л.А. Ничкова²
канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой Техносферная безопасность

^{1,2}ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь,
299053, Российская Федерация, e-mail: tamara_homenko93@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрена проблема производственного травматизма в Крыму и городе Севастополе. Представлены статистические данные по количеству несчастных случаев на производстве за 2019 и 2020 год. Одной из причин роста несчастных случаев на производстве специалисты называют увеличение числа рабочих мест. С начала 2020 года в Республике Крым зафиксировано снижение смертельного производственного травматизма к аналогичному периоду прошлого года, однако производственный травматизм с тяжелыми последствиями вырос на 70%.

Основными причины несчастных случаев и производственного травматизма, связанных с производством в Республике Крым и городе Севастополе являются: неудовлетворительная организация производства работ, нарушение правил дорожного движения, нарушение работником трудового распорядка и дисциплины труда и прочие причины, квалифицированные по материалам расследования несчастных случаев. Республика Крым и Севастополь являются первыми субъектами Российской Федерации, присоединившиеся к концепции «Нулевого травматизма», целью которой является снижения показателей производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. В статье приводится перечень мер и организационных мероприятий по обеспечению профилактики производственного травматизма и предупреждению несчастных случаев на производстве.

Ключевые слова: травматизм, несчастный случай, производство, Республика Крым, города Севастополь.

INDUSTRIAL INJURIES IN CRIMEA

T.Yu. Khomenko¹ graduate student, A.S. Yurchenko² graduate student, L.A. Nichkova³ candidate of technical sciences, docent, head of the department of Technosphere Safety

^{1,2} Sevastopol State University, Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053, Russian Federation,
e-mail: tamara_homenko93@mail.ru

Abstract

The article deals with the problem of industrial injuries in the Crimea and the city of Sevastopol. Statistical data on the number of industrial accidents for 2019 and 2020 are presented. One of the reasons for the increase in accidents at work, experts say, is the increase in the number of jobs. Since the beginning of 2020, the Republic of Crimea has recorded a decrease in fatal industrial injuries compared to the same period last year, but industrial injuries with severe consequences have increased by 70%.

The main causes of accidents and industrial injuries associated with production in the Republic of Crimea and the city of Sevastopol are: unsatisfactory organization of work, violation of traffic rules, violation of the employee's labor regulations and labor discipline, and other reasons qualified by the materials of the accident investigation. The Republic of Crimea and Sevastopol are the first subjects of the Russian Federation to join the concept of "Zero Injuries", which aims to reduce the indicators of occupational injuries and occupational morbidity. The article provides a list of measures and organizational measures to ensure the prevention of industrial injuries and the prevention of accidents at work.

Keywords: traumatism, accident, production, Republic of Crimea, city of Sevastopol.

1. Введение

Производственная травма – это внезапное повреждение организма человека и потеря им трудоспособности, вызванные несчастным случаем на производстве. Под несчастными случаями понимаются профессиональные заболевания, профессиональные отравления и, в исключительных случаях, общие заболевания. В свою очередь, повторение несчастных случаев, связанных с производством, считается производственным травматизмом.

Возможность возникновения конкретной производственной травмы (несчастного случая на производстве) зависит от характера рабочего места, характера труда, характера работника и сочетания целого ряда других конкретных условий труда. Общепринятой классификации причин производственного травматизма в настоящее время нет.

Основными причинами производственного травматизма можно назвать следующие:

- конструктивные недостатки, несовершенство, недостаточная надежность машин, механизмов, оборудования;
- эксплуатация неисправных машин, механизмов, оборудования;
- несовершенство технологического процесса;
- нарушение технологического процесса;
- нарушение требований безопасности при эксплуатации транспортных средств;
- нарушение правил дорожного движения;

- неудовлетворительная организация производства работ;
- неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест;
- неудовлетворительное техническое состояние зданий, сооружений, территорий;
- недостатки в обучении безопасным приемам труда;
- неприменение средств индивидуальной защиты;
- неприменение средств коллективной защиты;
- нарушение трудовой и производственной дисциплины;
- использование рабочего не по специальности и пр. [1].

Одной из причин роста несчастных случаев на производстве специалисты называют увеличение собственно числа рабочих мест. В частности, с начала 2020 года в Республике Крым зафиксировано снижение смертельного производственного травматизма к аналогичному периоду прошлого года на 21%. К сожалению, производственный травматизм с тяжелыми последствиями за аналогичный период вырос на 70%. В целом производственный травматизм остался на уровне прошлого года [2].

2. Основной материал

По данным Крымстата, в 2019 году всего было травмировано 134 человека, в том числе 48 женщин (35,8%), травматизм со смертельным исходом зафиксирован в 14

случаях. Подавляющее большинство травмированных на производстве со смертельным исходом – мужчины (85,7%) [2].

Причинами несчастных случаев, приведших с травматизму стали:

- нарушение правил дорожного движения – 18,7%;
- нарушение трудовой и производственной дисциплины – 9,0%;
- нарушение требований безопасности при эксплуатации транспортных средств; неприменение средств индивидуальной и коллективной защиты – по 3,0%;
- конструктивные недостатки, несовершенство, недостаточная надежность машин, механизмов, оборудования; воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов и деталей; неудовлетворительное техническое состояние зданий, сооружений, территории – по 1,5%.

Общий уровень травматизма на производстве по Республике Крым в 2019 году составил 0,7 случаев в расчете на 1000 работающих, из них со смертельным исходом – 0,071 (в 2018г. – 0,6 и 0,057 соответственно).

Основные виды происшествий, приведшие к несчастному случаю в 2019 году представлены на рисунке 1.



Рис. 1. Основные виды происшествий, приведшие к несчастному случаю в 2019 г.

Три четверти травмированных работников в результате несчастных случаев на производстве традиционно фиксируется в таких видах экономической деятельности как:

- здравоохранение и социальные услуги (кроме предоставления социальных услуг) (26,9%);
- обрабатывающие производства (17,2%);

- транспортировка и хранение, деятельность сухопутного и трубопроводного транспорта (16,4%);

- строительство (14,2%).

Менее 10% получили травмы на производстве работники в отраслях сельского, лесного хозяйства, охоты, рыболовства и рыбоводства (9,0%) и водоснабжения, водоотведения, организации сбора и утилизации отходов, деятельности по ликвидации загрязнений (6,7%) [2].

Основными причинами травматизма согласно выводам комиссий по расследованию несчастных случаев на производстве в Крыму установлены следующие:

1. Ухудшение здоровья работника на рабочем месте в следствии общего заболевания – 59%.
2. Падение с высоты – 9%.
3. Нарушение правил эксплуатации оборудования – 7%.
4. ДТП – 7%.

По информации ФСС в первом полугодии 2020 года в Севастополе расследованы и признаны 30 страховых случаев производственного травматизма: из них 25 – легкие, 5 – тяжелые.

Анализ расследований происшествий показал, что причинами производственных травм являются:

- неосторожность работников при выполнении работ – 24;
- неудовлетворительная организация производства работ работодателем – 4;
- неприменение пострадавшим СИЗ – 1;
- нарушение ПДД третьим лицом – 1.

Наибольшее количество работников, получивших повреждения здоровья вследствие несчастных случаев на производстве зарегистрировано в медицинских учреждениях и организациях, относящихся к МО РФ, а также на предприятиях ООО «Золотая Балка», ООО КП «Чистый город», ГУПС «Водоканал».

Типичными причинами несчастных случаев связанных с производством в Республике Крым и городе Севастополе являются: неудовлетворительная организация производства работ, нарушение правил дорожного движения, нарушение работником трудового распорядка и дисциплины труда и прочие причины, квалифицированные по материалам расследования несчастных случаев.

Республика Крым и Севастополь являются первыми субъектами Российской Федерации, присоединившиеся к концепции «Нулевого травматизма».

«Vision Zero» или «Нулевой травматизм» – это качественно новый подход к организации профилактики, объединяющий три направления – безопасность, гигиену труда и благополучие работников на всех уровнях производства.

Концепция предлагает семь «золотых правил», реализация которых будет содействовать работодателю в снижении показателей производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Концепция «нулевого травматизма» была запущена в Сингапуре 4 сентября 2017 года на XXI Всемирном конгрессе по безопасности и гигиене труда. Меморандум между Министерством труда и социальной защиты РФ и Международной ассоциацией социального обеспечения о взаимопонимании и сотрудничестве по продвижению Концепции «нулевого травматизма» был подписан 12 декабря 2017 года.

Правительством Республики Крым уделяется повышенное внимание вопросу сохранения здоровья и безопасности работников, и в этом направлении достигнуты высокие результаты. Так, во Всероссийском рейтинге соблюдения трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, Крым занимает третье место.

Основные принципы обеспечения профилактики производственного травматизма, безопасности труда работников реализуются через применение следующих мер:

1. Устранение непосредственного контакта работников с исходными материалами, заготовками, полуфабрикатами, комплектующими изделиями, готовой продукцией и отходами производства, оказывающими опасное и вредное воздействие;
2. Замена технологических процессов и операций, связанных с возникновением опасных и вредных производственных факторов, процессами и операциями, при которых указанные факторы отсутствуют или не превышают предельно допустимых концентраций, уровней;
3. Комплексная механизация, автоматизация, применение дистанционного управления технологическими процессами и операциями при наличии опасных и вредных производственных факторов;
4. Герметизация оборудования;
5. Применение средств коллективной и индивидуальной защиты работников;

6. Разработка обеспечивающих безопасность систем управления и контроля производственного процесса, включая их автоматизацию;

7. Применение мер, направленных на предотвращение проявления опасных и вредных производственных факторов в случае аварии;

8. Применение безотходных технологий, а если это невозможно, то своевременное удаление, обезвреживание и захоронение отходов, являющихся источником вредных производственных факторов;

9. Использование сигнальных цветов и знаков безопасности;

10. Применение рациональных режимов труда и отдыха.

Среди технических мероприятий по предупреждению несчастных случаев на производстве основное значение принадлежит коллективным средствам защиты.

К основным организационным мероприятиям по предупреждению производственного травматизма следует относить своевременное и качественное проведение:

- обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны труда, безопасных методов и приемов выполнения работы;
- всех видов инструктажей по охране труда и противопожарных инструктажей;
- стажировки и дублирования;
- противоаварийных и противопожарных тренировок;
- специальной подготовки;
- повышения квалификации работников.

Заключение

В Крыму с 2016 года проводится профилактическая работа на предприятиях, допустивших в предшествующий период несчастный случай. За отчетный период проведено 5 совещаний на предприятиях с руководителями подразделений и специалистами в целях рассмотрения причин несчастного случая и недопущения его повторения.

Инспекция с марта 2020 года разместила 18 информационных материалов по основным направлениям своей деятельности в том числе по ОТ 8 материалов. В разделе ОТ представлена информация: - о требованиях по созданию системы охраны труда - размещены методические рекомендации - приведены ответы на часто задаваемые вопросы [3].

Важными организационными мерами профилактики несчастных случаев на

производстве являются разработка и эффективное функционирование системы управления охраной труда (СУОТ) в организации, распределение между должностными лицами организации обязанностей в области охраны и безопасности труда, назначение ответственных лиц за

исправное состояние и безопасную эксплуатацию зданий, сооружений, машин, механизмов, оборудования, оформление выполнения работ повышенной опасности наряд-допуском, распоряжением, перечнем работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации и др.

Список литературы

1. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска на опасных производственных объектах» (утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 10.07.2001 N 30).
2. Управление федеральной службы государственной статистики по Республике Крым и г. Севастополю (КРЫМСТАТ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://crimea.gks.ru/storage/mediabank/Пресс-вып%207%20травм%202019.pdf>
3. Министерство труда и социальной защиты Республики Крым. Официальный портал. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mtrud.rk.gov.ru/ru/structure/4641>

References

1. RD 03-418-01 “Guidelines for conducting risk analysis at hazardous production facilities” (approved by the Resolution of the Gosgortekhnadzor of Russia dated 10.07.2001 N 30).
2. Department of the Federal State Statistics Service for the Republic of Crimea and the city of Sevastopol (KRYMSTAT). [Electronic resource]. - Access mode: <https://crimea.gks.ru/storage/mediabank/Press-wep%207%20travm%202019.pdf>
3. Ministry of Labor and Social Protection of the Republic of Crimea. Official portal. [Electronic resource]. - Access mode: <https://mtrud.rk.gov.ru/ru/structure/464>

РАЗДЕЛ 4. МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 643.01

МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОЛАБОРАТОРИИ

Т. В. Юдина¹ студент, Д. Т. Джаманакова², М. Н. Белая³, канд. техн. наук

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

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь,
Российская Федерация, 299053 e-mail: jamanakova.53@mail.ru

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь,
Российская Федерация, 299053 e-mail: belaya_079@mail.ru

Аннотация

Качество производимой продукции, оказываемых услуг, выполнения работ, безопасность труда и государства, а значит и качество жизни, все это напрямую зависит от уровня метрологического обеспечения (МО) измерений. С помощью измерений получают информацию, служащую основой для принятия решений на всех уровнях управления. Правильность решения зависит от достоверности и точности полученных данных. Недостоверная информация приводит к снижению качества продукции, авариям, массовому браку, затратам.

Электросетевые компании являются важным элементом жизнеобеспечения города, поэтому им уделяется большое внимание.

Данные исследования проведены на базе ООО ЭК «Севастопольэнерго». В процессе работы проведен анализ метрологического обеспечения измерений и испытаний, а именно анализ структуры электролаборатории, методических указаний, условий измерений и испытаний. Согласно должностным инструкциям проведен анализ требований к персоналу, его основным функциям и обязанностям. Были проанализированы средства измерения, испытательное оборудование и вспомогательного оборудования, а также подтверждение их соответствия метрологическим требованиям, а именно условия проведения поверки и калибровки, даны рекомендации по улучшению проведения калибровки силами предприятия. Сделан вывод о том, что деятельность производственной лаборатории по всем параметрам соответствует требованиям нормативно-технической документации, а также сформулированы рекомендации для улучшения эффективности ее деятельности.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, измерения, испытания, электролаборатория, поверка, калибровка, испытательное оборудование, вспомогательное оборудование, средство измерения, соответствие

METROLOGICAL SUPPORT OF MEASUREMENTS AND TESTS OF THE ELECTRICAL LABORATORY

T.V. Yudina¹ student, D.T. Djamanakova² student, M.N. Belaya³, cand. sc. tech

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 29905
e-mail: Tanyafine@mail.ru

¹FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 29905
e-mail: jamanakova.53@mail.ru

³FSAEI HE Sevastopol State University, st. University, 33, Sevastopol, Russian Federation, 29905
e-mail: belaya_079@mail.ru

Abstract

The quality of products, services provided, work performance, labor and government safety, and hence the quality of life, all directly depend on the level of metrological support of measurements. With the help of measurements, information is obtained that serves as the basis for decision-making at all levels of management. The correctness of the decision depends on the reliability and accuracy of the data obtained. Inaccurate information leads to a decrease in product quality, accidents, mass rejects, and costs.

Electric grid companies are an important element of the city's life support, therefore, they receive great attention.

These studies were carried out on the basis of LLC EK "Sevastopolenergo". In the course of the work, the analysis of the metrological support of measurements and tests was carried out, namely, the analysis of the structure of the electrical laboratory, methodological instructions, measurement and test conditions. According to the job descriptions, an analysis of the requirements for personnel, their main functions and responsibilities was carried out. The measuring instruments, test equipment and auxiliary equipment were analyzed, as well as confirmation of their compliance with metrological requirements, namely the conditions for verification and calibration, recommendations were given to improve the calibration by the enterprise. It is concluded that the activities of the production laboratory in all respects comply with the requirements of regulatory and technical documentation, and recommendations are formulated to improve the efficiency of its activities.

Keywords: Metrological support, measurements, tests, electrical laboratory, verification, calibration, test equipment, auxiliary equipment, measuring instrument, compliance

1. Введение

В соответствии с законодательными и нормативными требованиями необходимо, как минимум соблюдать метрологические требования основных нормативных документов, а как максимум стремиться совершенствовать метрологическое обеспечение и переходить на новый уровень. На основе проведения анализа состояния и уровня метрологического обеспечения определяются цели и задачи метрологического обеспечения не только общие для различных структур, но и конкретные задачи с учетом особенностей производства и оказания услуг в данной сфере. Необходимо стремиться сформировать концептуальную систему взглядов на организацию метрологического обеспечения во всех сферах на основе системного подхода, учитывающего взаимосвязи и взаимовлияние различных элементов и процессов метрологического обеспечения.

На эффективность измерений в технологических процессах влияют потери, возникающие из-за неточности оценок погрешности измерений, вызванные ограниченными возможностями применения конкретных метрологических методов и средств. В таких случаях требуется оценка неточности и степени недоверности получаемых результатов. Только на основании этой информации принятые решения будут более справедливы, что должно привести к повышению эффективности измерений.

В общем случае уровень метрологического обеспечения предприятия или организации определяется [1]:

- наличием технической документации, нормы измерений, требования к средствам измерений и методикам выполнения их;
- исправностью и правильностью применения средств измерений (СИ);
- правильностью выполнения измерений;

- внедрением новейшей измерительной техники;
- организацией и соответствием требованиям задач по метрологическому обеспечению квалификацией работников, выполняющих измерения и осуществляющих ремонт и поверку средств измерений.

2. Анализ деятельности электросетевых компаний города Севастополя

В данной статье электросетевые компании рассматриваются как территориальные сетевые организации.

В соответствии с Федеральным Законом «Об электроэнергетике» под территориальной сетевой организацией понимается коммерческая организация, оказывающая услуги по передаче электрической энергии с использованием объектов электросетевого хозяйства, не относящихся к единой национальной (общероссийской) электрической сети [2].

Электросетевые компании города Севастополя:

- «Таврида Электрик»;
- «Севэлектромонтаж-464»;
- «Энергосервис»;
- ООО ГК «ЭВЕРЕСТ»;
- ГБУ «Горсвет»;
- ФГУП «102 ПЭС Минобороны России»;
- ООО «Энергоучёт»;
- ООО ЭК «Севастопольэнерго».

«Таврида Электрик» основана на базе научно-исследовательской лаборатории. Она предлагает инновационные продукты и решения для электроэнергетической отрасли, технологии «умных сетей» – Smart Grid, основанные на применении инновационных продуктов TEL и Plug&Play инжиниринга, которые способствуют повышению надежности электроснабжения потребителей. Предприятие специализируется на разработке и производстве инновационной вакуумной

коммутационной техники, интеллектуальных аппаратов для автоматизации сетей и подстанций, алгоритмов защит, автоматики распределительных сетей и локализации аварий на них.

Компания «Таврида Электрик» является мировым лидером в отдельных сегментах производства электротехнического оборудования. Высокотехнологическая продукция компании реализуется в 70 странах мира, конкурируя с производителями западной Европы и Японии.

К ценностям компании относятся уникальные испытательные лаборатории, в которых изучаются физические явления, происходит поиск новых технологий и материалов, разрабатываются новейшие модели. Фото испытательных лабораторий представлены на рисунке 1 [3].

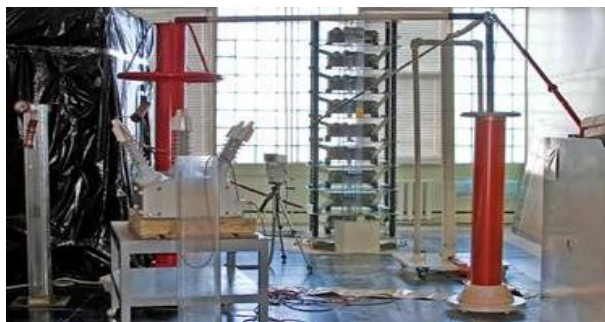


Рис. 1. Испытательные лаборатории компании «Таврида Электрик».

Севастопольское специализированное предприятие ООО «Севэлектромонтаж-464»

является наиболее крупным электромонтажным и электросетевым предприятием города. Благодаря высокоразвитой производственной базе и квалифицированным специалистам, предприятие освоило изготовление электрооборудования любой специфики и сложности. Объекты, на которых используется электрооборудование, изготовленное ООО «Севэлектромонтаж-464»:

- комплекс «Аквамарин», город Севастополь;
- торгово-развлекательный комплекс «Апельсин», город Севастополь;
- канализационная насосная станция, Бухта Омега, город Севастополь.

На предприятии постоянно совершенствуется технологический процесс, при этом большое внимание уделяется передовым технологиям сборки и коммутации электрооборудования. Имея современные лаборатории, оснащённые необходимым технологическим оборудованием, предприятие освоило изготовление нестандартизированного электрооборудования [4].

Также к таким компаниям относится коммунальное предприятие «Энергосервис», которое производит работы на внутридомовых электрических сетях.

ООО ГК «ЭВЕРЕСТ» - современная энергетическая компания города Севастополя, обладающая большим опытом решения задач любой сложности в организации полного комплекса работ электроснабжения частных, коммерческих и промышленных объектов. Компания имеет свидетельство о допуске к определённому виду (видам) работ, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства. К таким видам работ относятся:

- работы по подготовке сведений о внутреннем инженерном оборудовании, внутренних сетях инженерно-технического обеспечения;
- работы по подготовке сведений о наружных сетях инженерно-технического обеспечения.

В своем составе предприятие ООО ГК «ЭВЕРЕСТ» имеет структурное подразделение ООО «ЭНЕРГОСИЛА». Это электромонтажная компания, которая, основываясь на передовых технологиях и квалифицированных кадрах, обеспечивает присоединение к электросетям любого объекта, а также строительство и последующее обслуживание внутренних сетей. Также имеется Свидетельство о допуске к определённому виду (видам) работ, которые

оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства. Виды работ [5]:

- устройство сетей энергоснабжения напряжением до 35 кВ включительно;
- установка распределительных устройств, коммутационной аппаратуры, устройств защиты;
- монтаж и демонтаж трансформаторных подстанций и линейного электрооборудования напряжением свыше 35 кВ;
- монтаж и демонтаж проводов и грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи напряжением свыше 35 кВ;
- пусконаладочные работы силовых и измерительных трансформаторов, коммутационных аппаратов, устройств релейной защиты.

ГБУ «Горсвет» осуществляет работы по эксплуатационному обслуживанию и ремонту сетей наружного освещения города Севастополя, являющихся собственностью территориальной громады города и переданных на баланс учреждения. К основным функциям ГБУ «Горсвет» относится контроль технического состояния, развитие и обслуживание наружных сетей освещения города. На балансе предприятия находится свыше 19 тысяч светоточек и 770 километров сетей, из которых почти 150 километров кабельных сетей. Главной задачей является поддержание на должном уровне бесперебойной работы системы наружного освещения Севастополя для безопасности и комфорта горожан [6].

Федеральное государственное унитарное предприятие «102 предприятие электрических сетей» Министерства обороны Российской Федерации занимается вопросами, касающимися электрических сетей, находящихся в его ведении. Основным видом деятельности является передача электроэнергии и технологическое присоединение к распределительным электросетям [7].

ООО «Энергоучёт» - компания-лидер в сфере энергосбережения и энергоучёта на территории Севастополя и Крыма. Она обслуживает как бытовой, так и промышленный сектор. Электромонтаж, как одно из направлений ее деятельности, осуществляется по всем нормам и правилам обслуживания электросетей с соблюдением технической безопасности. «Энергоучёт» обеспечивает проектный инжиниринг и составление плана будущих электросетей, устанавливает приборы учета электроэнергии, устройства защитного отключения и

прокладывает высоковольтный или низковольтный кабель для монтажа линий электропередач. Основная функция предприятия - установка счетчиков, а также осуществляется монтаж и демонтаж односторонних и многосторонних счетчиков [8].

Данная ВКР выполняется на базе еще одной электросетевой компании города Севастополя ООО ЭК «Севастопольэнерго». Это электросетевая компания, осуществляющая деятельность по передаче и распределению электрической энергии по сетям напряжения от 0,4 кВ до 110 кВ на территории города Севастополя [9].

Электросетевая компания ООО ЭК «Севастопольэнерго» в своей деятельности руководствуется положением ООО ЭК «Севастопольэнерго» «О Единой технической политике в электросетевом комплексе». Данный документ является основополагающим и разработан в соответствии с действующим законодательством.

К основным задачам ООО ЭК «Севастопольэнерго» относится обеспечение надежного и стабильного энергоснабжения потребителей города Севастополя, качественное выполнения работ и услуг, достижение максимальной экономической эффективности и прибыльности [9].

Материальной базой предприятия является оборудование, измерительная аппаратура для проведения работ в своей области деятельности, а также средства измерения, испытания и контроля рабочего оборудования, находящиеся в лаборатории.

В структуру предприятия входит производственная лаборатория изоляции и защиты от перенапряжений – электролаборатория. Электролаборатория специализируется на выполнении профилактических, приёмо-сдаточных и специальных измерений и испытаний.

За метрологическое обеспечение в ООО ЭК «Севастопольэнерго» отвечает метрологическая лаборатория (МЛ), которая является частью службы релейной защиты и автоматики (СРЗА). Согласно Положению о метрологической лаборатории, ее цель заключается в:

- обеспечении единства и требуемой точности измерений на предприятии;
- вводе в эксплуатацию, замене и технологическом сопровождении щитовых электроизмерительных приборов;
- контроле и учете приборов подлежащих государственной поверке;

- управлении материальными запасами метрологической лаборатории;
 - решение общих организационных задач.
- Метрологическая служба взаимодействует со всеми структурными подразделениями предприятия.

3. Анализ метрологического обеспечения

Метрологическое обеспечение необходимо тем предприятиям, организациям или учреждениям где проводятся измерения, испытания, контроль, осуществляемый с применением СИ, испытательного оборудования.

В работе [10] рассмотрена техническая основа метрологического обеспечения измерений и испытаний электролаборатории. Но, метрологическое обеспечение представляется не только технической основой, но и научной, нормативно-методической и организационными основами.

Метрологическое обеспечение – это не только техническая основа, но и установление, применение научных и организационных основ, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

3.1. Поверка средств измерений

Средства измерений должны быть поверены в установленном порядке. Федеральный Закон «Об обеспечении единства измерений» устанавливает основные положения по поверке средств измерений.

Виды работ, выполняемые электролабораторией ООО ЭК «Севастопольэнерго» относятся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений по обеспечению безопасных условий и охраны труда. Согласно МИ 3197-2009 «составление перечней измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» таким измерениям относится [11]:

- измерение напряжения и тока утечки при обеспечении электробезопасности и охране труда;
- измерение напряжения и тока утечки при контроле, диагностировании и испытании жидких и твердых диэлектриков;
- измерение напряжения и тока утечки для проверки электрической безопасности;

- измерение напряжения и силы тока при контроле электрической прочности изоляции и параметров устройств релейной защиты;
- измерение сопротивления при контроле параметров заземления и электроизоляции;
- измерение напряжения, тока, сопротивления при оценке безопасности электроустановок;
- измерение тока, короткого замыкания.

Средства измерений, применяемые в этой сфере, подлежат поверке, а средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

Используя паспортные данные средств измерения, на предприятии составляется календарный график государственной поверки СИ, в соответствии с которым осуществляется поверка СИ.

СИ, принадлежащие ООО ЭК «Севастопольэнерго», предоставляются на поверку в Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Севастополе».

3.2. Калибровка средств измерений

Калибровочная лаборатория ООО ЭК «Севастопольэнерго» входит в состав СРЗА. Силами предприятия подтверждают соответствие метрологическим требованиям СИ.

Калибровку проводит инженер-метролог, ответственный за калибровку средств измерений. Ответственный за состояние средств калибровки [12]:

- составляет и контролирует выполнение графиков профилактического осмотра, технического обслуживания и ремонта средств калибровки;
- ведет журналы учета средств калибровки;
- хранит и выдает персоналу инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию средств калибровки;
- составляет и контролирует выполнение графиков поверки средств калибровки;
- дает указания персоналу в тех случаях, когда средства калибровки работают в режиме перегрузки или неправильно эксплуатируются.

По результатам последней калибровки все СИ признаны годными, т.е. подтверждаются действительные значения метрологических характеристик и (или) пригодность к применению СИ, не подлежащего государственному метрологическому

контролю и надзору, или не подтверждаются (при получении отрицательных результатов калибровки).

3.3. *Аттестация испытательного оборудования*

Основной целью аттестации испытательного оборудования (ИО) является подтверждение его характеристик и возможности воспроизведения условий испытаний в заданных пределах с допускаемыми отклонениями и установление пригодности использования ИО в соответствии с его назначением [13].

Аттестация ИО существует трех видов: первичная; периодическая; повторная.

При вводе в эксплуатацию ИО подвергают первичной аттестации.

В процессе эксплуатации ИО подвергают периодической аттестации, которая заключается в подтверждении соответствия характеристик ИО требованиям нормативной документации на методы испытаний и пригодности его к дальнейшему использованию. Проводится через интервалы времени, установленные в эксплуатационной документации на ИО или при его первичной аттестации. Интервалы времени периодической аттестации могут быть установлены по результатам контроля состояния испытательного оборудования в процессе его эксплуатации. Для различных частей ИО эти интервалы могут быть различны.

При отрицательных результатах периодической аттестации в протоколе указываются мероприятия, которые необходимы для доведения технических характеристик ИО до требуемых значений.

В случае ремонта или модернизации ИО, при получении отрицательных результатов первичной аттестации, после внесения изменений в метрологически значимую часть программного обеспечения или других причин, которые могут вызвать изменения характеристик воспроизведения условий испытаний, испытательное оборудование подвергают повторной аттестации.

Результаты любой аттестации оформляются протоколом.

ИО производственной лаборатории изоляции и защиты от перенапряжения (ПЛИЗП) подлежит периодической аттестации каждые 24 месяца в Федеральном бюджетном учреждении «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Крым». В протоколе

указывается дата его выдачи и срок его действительности. В нем удостоверяется, что данное ИО, принадлежащее ООО ЭК «Севастопольэнерго», по результатам периодической аттестации признается пригодной для использования при конкретных видах испытаний с указанием методик испытаний и периодичности аттестации.

3.4. *Вспомогательное оборудование*

Вспомогательное оборудование представляет собой оборудование, служащее для обеспечения необходимых условий для выполнения измерений с требуемой точностью. Несмотря на то, что оборудование называется вспомогательным, проведение точных исследований невозможно без использования данных устройств. Оно должно точно выполнять возложенную на прибор функцию.

3.4. *Методические указания*

Испытательная лаборатория должна использовать методы и процедуры, установленные техническими регламентами, стандартами и техническими условиями, в соответствии с которыми испытывают изделия. Эти документы должны быть в распоряжении сотрудников, ответственных за проведение испытаний.

Испытания и измерения в электроустановках проводят при вводе их в эксплуатацию в сроки, определяемые периодичностью профилактических испытаний, при капитальном и текущем ремонтах оборудования. Нормы и периодичность испытаний электрооборудования и аппаратов электроустановок приводятся в РД 34.45-51.300-97. Кроме испытаний, предусмотренных нормами, все электрооборудование должно пройти осмотр, проверку работы механической части и другие испытания согласно инструкциям по его эксплуатации и ремонту. Объем и сроки испытания электрооборудования могут изменяться начальником ПЛИЗП в зависимости от производственной важности и надежности оборудования.

Испытания электрооборудования производятся с соблюдением требований правил техники безопасности. Таким образом, измерение изоляционных характеристик электрооборудования под рабочим напряжением разрешается осуществлять при условии использования устройств, обеспечивающих безопасность работ и защиту

нормально заземляемого низкопотенциального вывода контролируемого объекта от появления на нем опасного напряжения при нарушении связи с землей. Испытания изоляции электрооборудования и отбор пробы трансформаторного масла для испытаний проводятся при температуре изоляции не ниже 5 °С, кроме случаев, когда измерения требуется проводить при более высокой температуре. Если же измерения электрических характеристик изоляции проведены при отрицательных температурах, то необходимо в короткие сроки повторить измерения при температуре изоляции не ниже 5 °С.

Испытанию повышенным напряжением должны предшествовать тщательный осмотр и оценка состояния изоляции другими методами. При этом наружную поверхность изоляции очищают от пыли и грязи, кроме тех случаев, когда испытания проводятся методом, не требующим отключения электрооборудования. Испытательное напряжение поднимают плавно со скоростью, позволяющей визуально контролировать показания измерительных приборов, а после требуемой выдержки напряжение также плавно снижают до значения не более одной трети испытательного и отключают.

Рекомендуемые методические указания большей частью ориентированы на профилактические, приёмо-сдаточные и специальных измерения и испытания электроустановок.

3.5. Персонал: операторы, специалисты, выполняющие измерения, испытатели

ПЛИЗП располагает достаточным числом специалистов, имеющих соответствующее образование, профессиональную подготовку, квалификацию и опыт работы по конкретным видам испытаний, а также необходимой документацией и сведениями, касающимися квалификации, практического опыта, подготовки кадров и повышения квалификации персонала, что соответствует требованиям РД ССПБ-2 «Требования к испытательным лабораториям и порядок их аккредитации» [14]. Специалисты, выполняющие измерения или участвующие в проведении испытаний и оценок, аттестованы в установленном лабораторией порядке на право их проведения.

Сотрудник ПЛИЗП знает конкретную сферу своей деятельности, на каждого разработана должностная инструкция, которая устанавливает функции, обязанности, права и ответственность, квалификационные

требования к образованию, техническим знаниям и опыту работы.

3.6. Условия измерений и испытаний

В соответствии с «Требованиями испытательной лаборатории» помещения по месту осуществления деятельности должны быть собственностью лаборатории или на законном основании иметь право владения и пользования. Помещения испытательных лабораторий и окружающая среда при проведении испытаний вне помещения должны соответствовать требованиям методических документов на испытания и требованиям к условиям эксплуатации средств испытаний.

Согласно «Требования к электролабораториям и лабораториям теплотехнических измерений» испытательная лаборатория должна располагать помещениями, оборудованием, вычислительной и оргтехникой, необходимыми для проведения испытаний.

Из РМГ 128-2013 государственной системы измерений следует, что обеспечение выполнения обязательных требований к рабочим условиям в помещениях для лабораторий, осуществляющих испытания и измерения закладываются на стадии проектирования лаборатории. Для проведения испытаний, требующих особых условий, вопрос их обеспечения решается отдельно для каждого конкретного испытания [15].

Условия проведения испытаний и измерений в ПЛИЗП ООО ЭК «Севастопольэнерго», включая источники энергии, освещение и окружающую среду, содействуют правильному проведению испытаний и измерений и соответствуют требованиям закона о техническом регулировании.

ПЛИЗП обеспечивает нужные условия окружающей среды, пригодные для осуществления лабораторной деятельности, которые не влияют на результаты работы и благоприятно сказываются на требуемом качестве любого измерения. Задачей ПЛИЗП является исключение воздействий, которые могут негативно влиять на достоверность результатов. К таким воздействиям относится микробиологическое загрязнение, пыль, электромагнитные помехи, излучение, влажность, электроснабжение, температура, шум и вибрация.

Технические требования, предъявляемые к помещениям и условиям окружающей среды,

необходимым для осуществления деятельности ПЛИЗП, документированы.

Электролаборатория должна осуществлять мониторинг условий окружающей среды, управление ими и их регистрацию в соответствии с техническими требованиями, методами и методиками.

Для управления помещениями ПЛИЗП разработаны и внедрены меры, подвергающиеся мониторингу и периодическому пересмотру. Имеется доступ к участкам, которые оказывают влияние на лабораторную деятельность. Ведутся работы по предотвращению загрязнений и неблагоприятного воздействия на лабораторную деятельность, для этого приняты меры по обеспечению порядка и чистоты в лаборатории и разработаны специальные процедуры. Соседние участки, на которых проводятся несовместимые работы, надежно изолированы друг от друга, приняты меры по предотвращению взаимного влияния, что соответствует требованиям, установленными ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 [16].

Список литературы

1. Метрологическое обеспечение производства: учеб. пособие редакционно-издательского совета Томского политехнического университета/ И.А. Лежнина, А.А.Уваров – Томск: ТПИ, 2014. – 115 с.
2. Федеральный закон № 35-ФЗ Об электроэнергетике [Электронный ресурс] 2020. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901856089> (дата обращения 23.10.2020).
3. Официальный сайт Таврида Электрик [Электронный ресурс] 2017-2020. Дата обновления: 15.10.2020. URL: <https://www.tavrida.com/ter/> (дата обращения 24.10.2020).
4. Официальный сайт «Севэлектромонтаж-464» [Электронный ресурс] 2011-2020 Дата обновления: 10.10.2020. URL: <http://sevelectro464.ru/> (дата обращения 23.10.2020).
5. Официальный сайт ООО ГК «Эверест» [Электронный ресурс] 2015-2020 Дата обновления: 07.10.2020. URL: <http://everest-energo.ru/> (дата обращения 23.10.2020).
6. Официальный сайт ГБУ «Горсвет» [Электронный ресурс] 2015-2020 Дата обновления: 17.10.2020. URL: <https://sevsvet.ru/> (дата обращения 24.10.2020).
7. Официальный сайт ФГУП «102 Предприятие электрических сетей» [Электронный ресурс] 2015-2020 Дата обновления: 20.10.2020. URL: <http://102пэс.рф/> (дата обращения 24.10.2020).
8. Официальный сайт ФГУП ООО «Энергоучёт» [Электронный ресурс] 2010-2020 Дата обновления: 15.10.2020. URL: <https://sevenergouchet.ru/> (дата обращения 24.10.2020).
9. Официальный сайт ООО «Севастопольэнерго» [Электронный ресурс] 2017 – 2020. Дата обновления: 11.10.2020. URL: <https://sevenergo.net/> (дата обращения 22.10.2020).
10. Гусева А.В., Юдина Т.В., Белая М.Н. Техническая основа метрологического обеспечения измерений и испытаний электролаборатории / А.В. Гусева, Т.В. Юдина, М.Н. Белая // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем: сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции (27-28 мая 2020 года)/ редкол.: Павлов Е.В. (отв. ред.); Юго-Зап. гос. ун-т, Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2020. – С. 56 – 61.
11. Составление перечней измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений: МИ 3197/2009 от 25 декабря 2008: утв. ФГУП "ВНИИМС" [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56218/> (дата обращения 29.10.2020).
12. ПР 50.2.016-94 ГСИ. Требования к выполнению калибровочных работ: утв. Госстандарт России 20.09.1994 – М: Госстандарт России, 1995 – 16 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9031922> (дата обращения 29.10.2020).
13. ГОСТ Р 8.568-2017 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. - Введ. 2018-08-01. – М: Стандартинформ, 2019 – 16 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200158321> (дата обращения 29.10.2020).
14. Требования к испытательным лабораториям и порядок их аккредитации: РД ССПБ-2 [Электронный ресурс]: утв. Центральный орган Системы сертификации в области пожарной безопасности в РФ 21.04.2006:

4. Заключение

На основании всех описанных элементов метрологического обеспечения измерений и испытаний, проводимой электротехнической лаборатории, можно сделать вывод, что данная производственная лаборатория изоляции и защиты от перенапряжения способна предоставлять правильные, достоверные и воспроизводимые результаты измерений и испытаний.

Благодарности (Acknowledgements).

Мы благодарны рецензенту Руководителю службы метрологии Производственно-технического отдела Филиала ООО «ВО «Технопромэкспорт» в г. Севастополе Бакулиной Анне Николаевне за тщательное чтение рукописи и полезные замечания.

Эта работа была выполнена на базе выпускной квалификационной работы бакалавра Юдиной Татьяны Вячеславовны по направлению подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология.

ввод в действие с 01.07.06. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902066385> (дата обращения 23.10.2020).

15. РМГ 128-2013 ГСИ. Требования к созданию лабораторий, осуществляющих испытания и измерения: утв. Росстандарт: ввод. в действие с 01.05. 2015 – М: Стандартинформ, 2015 – 11 с.

16. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – Введ. 2019-09-01. – М: Стандартинформ, 2019 – 32 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200166732> (дата обращения 23.10.2020).

References

1. Lezhnina I.A., Uvarov A.A. *Metrologicheskoe obespechenie proizvodstva* [Metrological support of production]. Tomsk, TPU Publ., 2014, 115 p.
2. The Federal law of the Russian Federation no. 35-FZ "About electric power". Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901856089>. (Accessed 23 october 2020).
3. Ofitsial'nyi sait Tavrida Elektrik [Official site of Tavrida Electric]. Available at: <https://www.tavrida.com/ter/>. (Accessed 24 November 2020).
4. Ofitsial'nyi sait «Sevelektromontazh-464» [Official site of «Sevelektromontazh-464»]. Available at : <http://sevelectro464.ru/>. (Accessed 23 october 2020).
5. Ofitsial'nyi sait ООО ГК «Everest» [Official site LLC GC «Everest»]. Available at: <http://everest-energo.ru/>. (Accessed 23 october 2020).
6. Ofitsial'nyi sait GBU «Gorsvet» [Official site SBI «Gorsvet»] Available at: <https://sevsvet.ru/>. (Accessed 24 october 2020).
7. Ofitsial'nyi sait FGUP «102 Predpriiatiye elektricheskikh setei» [Official site FSU «102 Enterprise of electrical networks»] Available at: <http://102пэс.пф/>. (Accessed 24 october 2020).
8. Ofitsial'nyi sait FGUP ООО «Energouchet» [Official site FSU LLC «Energouchet»]. Available at: <https://sevenenergouchet.ru/>. (Accessed 24 october 2020).
9. Ofitsial'nyi sait ООО «Sevastopol'energo» [Official site LLC «Sevastopol'energo»]. Available at: <https://sevenergo.net/>. (Accessed 22 october 2020).
10. Guseva A.V., Iudina T.V., Belaya M.N. (2020) Technical basis for metrological support of measurements and tests of the electrical laboratory. Proceedings of the *All-Russian Scientific and Technical Conference*, (May 27-28, 2020), pp.56 – 61.
11. MT 3197/2009. Compilation of lists of measurements related to the sphere of state regulation of ensuring the uniformity of measurements. FSUE "VNIIMS". Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56218/>. (Accessed 29 october 2020).
12. MR 50.2.016-94 GSI. Requirements for performing calibration work. Moscow, Gosstandart of Russia. 1995. 16 p. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/9031922>. (Accessed 29 october 2020).
13. National Standard 8.568-2017 State system for ensuring the uniformity of measurements (GSI). Test equipment certification. Basic provisions. Moscow, Standardinform, 2019. 16 p. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200158321>. (Accessed 29 october 2020).
14. GD FSCS-2 Requirements for testing laboratories and the procedure for their accreditation. Central body of the Certification System in the field of fire safety in the Russian Federation. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902066385>. (Accessed 23 october 2020).
15. RIS 128-2013 GSI State system for ensuring the uniformity of measurements. Metrology. Basic terms and definitions. Moscow, Standardinform, 2015. 11 p. (Accessed 23 october 2020).
16. Interstate Standard ISO/IEC 17025-2019 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Moscow, Standardinform, 2019. 32 p. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200166732>. (Accessed 23 october 2020).

РАЗДЕЛ 5. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРИИ

УДК 621.65.03

АНАЛИЗ ПРИЧИН ПОВРЕЖДЕНИЯ НАСОСОВ АЭС С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

И.А. Дюдяев¹ студент, В.В. Майорова² студент,
Ю.В. Браславский³ к.т.н., доцент

¹ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия, ntv5.5@mail.ru;

²ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия,
vmaiorova0801@outlook.com;

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, 299053, Россия;

Аннотация

Атомные электрические станции занимают особое место в промышленном комплексе страны. К их оборудованию, значительный процент которого составляют насосы разных типов, выдвигаются особенно жесткие требования по надежности. Наиболее энергоемкими являются главные циркуляционные, питательные, конденсатные насосы, а также насосы систем безопасности и технического водоснабжения, а наиболее мощными – сетевые, питательные и конденсатные насосы. Действующая система планово-предупредительных ремонтов (ППР) предусматривает ремонтное обслуживание в соответствии с заранее определенным графиком. Это приводит, с одной стороны, к недоиспользованию ресурса насосных агрегатов, а с другой, не дает гарантий безаварийной работы в межремонтный период. Одно из действующих направлений решения данной проблемы заключается в широком применении методов компьютерного моделирования, что позволит перейти на новый уровень промышленной эксплуатации. В данной научной статье рассмотрены основные причины повреждения центробежных насосов атомной электрической станции с помощью компьютерного моделирования и возможный способ их устранения в учебной программе T-FLEX CAD.

Таким образом, использование компьютерного моделирования и внедрение их в промышленность - весьма актуальная и перспективная задача.

Ключевые слова: АЭС, насос, ВВЭР, рабочее колесо, коррозия, T-FLEX CAD, моделирование, эрозия, эпоксидное покрытие, кавитация.

ANALYSIS OF THE CAUSES OF DAMAGE TO NPP PUMPS USING COMPUTER SIMULATION

I.A. Dyudyaev¹ student, V.V. Mayorova² student,
Yu.V. Braslavskiy³ k.t.n., associate professor

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, ntv5.5@mail.ru;

² FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia, vmaiorova0801@outlook.com;

³ FSAEI HE Sevastopol State University, Sevastopol, 299001, Russia;

Abstract

Nuclear power plants occupy a special place in the industrial complex of the country. Their equipment, a significant percentage of which is made up of pumps of various types, has particularly strict reliability requirements. The most energy-intensive are the main circulation, feed, condensate pumps, as well as pumps of safety systems and technical water supply, and the most powerful are network, feed and condensate pumps. The current system of planned preventive repairs (PPR) provides for repair services in accordance with a pre-determined schedule. This leads, on the one hand, to underutilization of the resource of pumping units, and on the other, does not guarantee trouble-free operation during the inter-repair period. One of the current directions of solving this problem is the widespread use of computer modeling methods, which will allow us to move to a new level of industrial operation. This scientific article discusses the main causes of damage to centrifugal pumps of a nuclear power plant using computer modeling and a possible way to eliminate them in the T-FLEX CAD curriculum.

Thus, the use of computer modeling and their implementation in the industry is a very relevant and promising task.

Keywords: nuclear power plant, pump, PWR, impeller, corrosion, T-FLEX CAD, modeling, erosion, epoxy coating, cavitation.

1. Введение

На сегодняшние дни компьютерное моделирование стало неотъемлемой частью в большинстве областях жизнедеятельности человека. Проектирование различных объектов, строительство, дизайн, телевидение, кино, компьютерные игры - все эти сферы никак не могут обойтись без такого важного атрибута, как компьютерное моделирование.

Трёхмерное моделирование и анимации все время развиваются и модернизируются, что дает нам возможность все больше осуществлять задуманные нами планы. Поэтому в данной работе мы хотим произвести анализ причин повреждения насосов АЭС с помощью 3D-моделирования в учебной программе T- FLEX CAD.

Насосные агрегаты основных и вспомогательных систем атомных станций являются очень важным видом оборудования, которое обеспечивает надежное, безопасное и экономически эффективное использование энергоблоков. Прежде всего это касается главных циркуляционных и питательных насосов, насосов систем первого и второго контуров, промконтуров собственных нужд и технической воды, а также насосов систем безопасности.

Чтобы минимизировать возможное отрицательное влияние работы насосов на КИУМ, необходимо начать с конструирования, реализуя повышенные требования, касающиеся надежности, ресурсных и эксплуатационных показателей насоса и его основных изнашивающихся узлов, таких как, подшипников, торцовых уплотнений, и т.д. Также, повышения надежности и ресурса можно добиться путем модернизации и усовершенствования действующих конструкций насосов по итогам их эксплуатации.

Конструкторское Бюро Машиностроения обладает более чем 30-летним опытом разработки, а также изготовления насосного оборудования для АЭС, широко используя указанные выше методы в своей деятельности. Это можно показать с помощью результатов работ по увеличению ресурса центробежного насоса реактора ВВЭР и наиболее наглядным способом демонстрации является 3D-моделирование.

2. Краткое описание

Лопастные, включающие в себя центробежные, являются основным типом насосов по производительности, универсальности, а также распространенности.

Они бывают как маленькими, помещающимися в руку, так и большими, достигающими нескольких метров в диаметре. Данные насосы работают по принципу силового взаимодействия лопастей рабочего колеса с обтекающим их потоком перекачиваемой жидкости. Мощность центробежных насосов может находиться в пределах от доли киловатт до многих тысяч киловатт.

Центробежные насосы являются самыми распространёнными насосами, которые служат для подачи холодной или горячей воды, вязких или агрессивных жидкостей, сточных вод, смесей воды с грунтом, торфом, расколотым каменным углём. Данные насосы передают кинетическую энергию от вращающегося рабочего колеса частицам жидкости, находящихся между его лопастями. При этом возникает центробежная сила, под влиянием которой частицы подаваемой среды из рабочего колеса двигаются в корпус насоса, после чего под действием давления воздуха на их место приходят новые частицы. Таким образом, обеспечивается непрерывная работа насоса.

Основным параметром насоса является количество жидкости, которое перемещается в единицу времени, т.е. объёмная подача Q . Существуют и другие важные технические параметры, такие как развиваемое давление p или соответствующий ему напор H , потребляемая мощность N и КПД.

3. Устройство и способ работы центробежных насосов

Главным рабочим элементом центробежного насоса (рис. 1) является колесо 1, которое свободно вращается внутри корпуса. С помощью шпонки оно насажено на вал 2. Рабочее колесо составлено из переднего диска 3 и заднего диска 4, имеющих некоторое расстояние друг от друга. Между дисками расположены лопасти 5, которые плавно изогнуты в сторону, противоположно направленную вращению колеса.

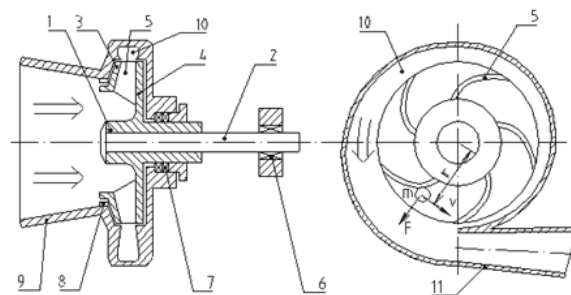


Рис 1. Чертеж центробежного насоса

Поверхность дисков, находящаяся внутри, и поверхность лопастей составляют межлопастные каналы колеса, заполненных перекачиваемой жидкостью при эксплуатации насоса.

Ротор является валом с насаженными на него вращающимися подшипниками 6. Посреди вращающихся и неподвижных деталей могут быть размещены сальники - уплотнения 7, снижающие утечки из насоса и уплотнения 8, уменьшающие циркуляцию внутри насоса.

Когда колесо вращается, в межлопастном канале на расстоянии r от оси вала, на всю жидкость, движущейся со скоростью v , действует центробежная сила. Эта сила выбрасывает жидкость из рабочего колеса и таким образом в его центре образуется разрежение, тогда как в периферийной части колеса устанавливается повышенное давление. Чтобы обеспечить непрерывное движение жидкости через насос нужно сделать ее подвод к рабочему колесу и отвод от него. Тогда жидкость по всасывающему трубопроводу (подводу 9) будет поступать через отверстие в переднем диске рабочего колеса. Жидкость может двигаться по всасывающему трубопроводу из-за разности давлений над свободной поверхностью жидкости в приемном бассейне (атмосферное) и в центральной области колеса (разрежение). Чтобы осуществить отвод жидкости в корпусе насоса находится в форме улитки увеличивающаяся в ширине спиральная камера, куда направляется жидкость, сбрасываемая из рабочего колеса. Отвод 10, то есть спиральная камера, переходит в короткий диффузор, образующий напорный патрубок 11, который обычно соединяется с напорным трубопроводом (рис.2) [1-2].

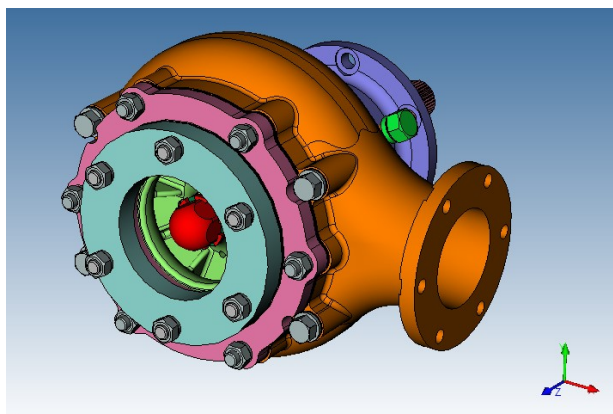


Рис. 2. Модель центробежного насоса

4. Классификация насосов

Существует следующая классификация насосов по конструкционно - энергетическим признакам, в нее входят: объемные, лопаточные, струйные, электромагнитные или магнитогидродинамические (МГД) насосы. Основными насосами АЭС являются циркуляционные, питательные и конденсатные, то есть лопаточные машины. МГД насосы предназначены для использования в космических и судовых ядерных реакторах для токопроводящих жидкостей. Задача струйных насосов - откачивать неконденсирующиеся газы из конденсаторов, деаэраторов и уплотнений. Объемные насосы используют в основном во вспомогательных системах, и они разделяются на: поршневые, плунжерные, ротационные, шестеренчатые и другие.

5. Специальные насосы АЭС

Насосы, которые используются в ядерной энергетике, приблизительно разделяются на следующие девять групп [2]:

- 1) Главные циркуляционные насосы - создают циркуляцию теплоносителя вместе с вспомогательными насосами.
- 2) Питательные насосы - подают питательную воду в парогенераторы или барабаны-сепараторы.
- 3) Конденсатные насосы - подают конденсат в деаэраторы из конденсаторов турбин и подогревателей низкого и высокого давления.
- 4) Насосы циркуляционного водоснабжения предназначены для охлаждения конденсатор турбин.
- 5) Насосы технического водоснабжения главного корпуса.
- 6) Насосы систем безопасности.
- 7) Насосы масло снабжения систем турбоагрегатов.
- 8) Насосы спецводоочистки и химводоочистки.
- 9) Насосы вспомогательных систем.

6. Причины отказа работы насоса

Проблемы, связанные с отказом лопастных насосов при эксплуатации и меры по их устранению, являются очень важными, так как остановка данных насосов приводит к значительному понижению мощности энергоблока и даже в некоторых случаях к его останову. По опыту использования насосов можно сказать, что большая часть их неисправностей формируется в пусковой период и при этом большинство отказов

происходит во время пуска насоса или же после длительной эксплуатации.

Наиболее часто встречаются следующие неисправности:

- насос не производит требуемые подачу и напор;
- перегрев подшипников;
- повышенная потребляемая мощность;
- повышенная вибрация;
- заклинивание ротора.

Причинами данных неисправностей являются:

- При перекачивании жидкостей и твердых фракций оборудование все время оказывается под влиянием механического напряжения, что приводит к возникновению коррозии и эрозии на основных компонентах насоса, а именно таких как лопасти (рис.3), корпус (рис.4) и вал. За водорезами, компенсационными кольцами и корпусами необходимо следить и не допускать, чтобы они стали причиной существенных проблем по отношению к функциональности и производительности насоса.

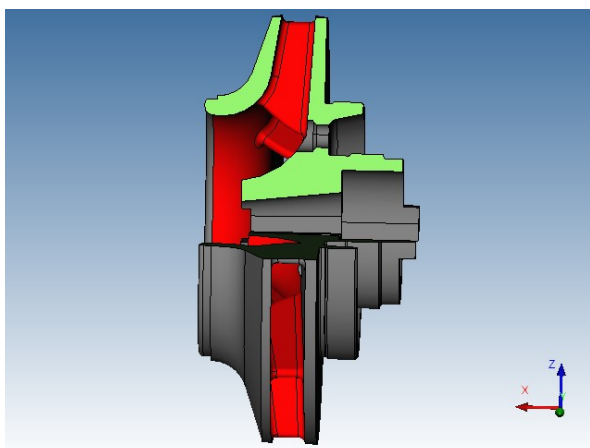


Рис. 3. Рабочее колесо центробежного насоса в разрезе. Красным цветом обозначены места более подверженные коррозии-эрозии.

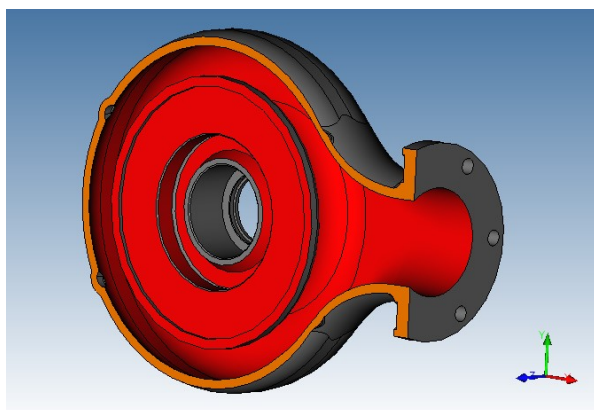


Рис. 4. Корпус насоса в разрезе. Красным цветом обозначены места более подверженные коррозии-эрозии.

- Сначала повреждение вызовет появление на поверхностях неровностей и язвин, которые смогут увеличить трение и понизить эффективность системы, а также повысить эксплуатационные затраты. Но это еще не все, проблемы коррозии-эрозии, если от них вовремя не избавиться, могут нарушить целостность компонента и, в конце концов, повлечь за собой отказ оборудования. Обычно данную проблему решают с помощью замены, но это требует высоких расходов и времени, которое может занять недели или даже месяцы.

С другой стороны, горячая обработка, включая сварку и наплавление покрытия, может привести к термическому напряжению оборудования и создать проблемы с электрохимической коррозией. Таким образом, ни одно из существующих предложений не дает решения основной проблемы. Поэтому все больше предприятий используют полимерные технологии холодного отверждения для ремонта и защиты оборудования [3].

- Низкий КПД в результате появления широкого слоя турбулентности.

Достаточно большая часть коррозионных повреждений оборудования ТЭС и АЭС выпадает на тракт питательной воды и конденсата. Именно там металл испытывает наиболее тяжелые условия, что можно объяснить коррозионной агрессивностью, соприкасающегося с ним теплоносителя.

Существуют следующие способы предотвращения коррозии оборудования конденсатного тракта:

- изготовление труб теплообменных аппаратов из коррозионностойких металлов, таких как красная медь, нержавеющая сталь;
- удаление CO_2 из добавочной обессоленной воды;
- постоянный вывод неконденсирующихся газов из паровых камер ПНД, охладителей, подогревателей сетевой воды;
- тщательное уплотнение сальников конденсатных насосов, арматуры, фланцевых соединений питательных трубопроводов низкпотенциальной части тракта;
- обеспечение достаточной герметичности конденсаторов турбин со стороны охлаждающей воды и воздуха;
- организация оперативного контроля за присосами воздуха и воды.

Наличие коррозии в конденсатно-питательном тракте опасно не только повреждением поверхности оборудования, но и также обогащением питательной воды

продуктами коррозии. Чем больше увеличивается их вынос в парогенератор, тем больше усиливаются процессы подшламовой коррозии и железоокисного накипеобразования. С течением времени данные процессы могут вызвать серьезные повреждения поверхностей нагрева, что приведет к аварийному останову парогенератора.

Но, к сожалению, эти методы по предотвращению коррозии оборудования не долгосрочны, они требуют помощи дополнительного оборудования, а также больших финансовых затрат. Поэтому, одним из способов решения данных проблем является использование поверхностно наносимых средств для увеличения КПД и снижения износа. Именно поверхностно наносимые составы не изменяют конструкцию изделия, а, следовательно, не придется менять расчеты, кроме того его можно использовать на любом насосе, причем, даже на износившемся [4].

7. Пример такого покрытия

Примером такого покрытия может послужить Belzona 1341 (Supermetalgilde). Двухкомпонентное эпоксидное покрытие специально разработано для повышения КПД насосов, трубопроводов, клапанов и другого гидронасосного оборудования, которое обеспечивает длительную защиту от эрозии и коррозии (рис. 5 и рис. 6). Данное покрытие, благодаря своим высоким эксплуатационным характеристикам, понижает энергопотребление, защищает оборудование от химического воздействия, а также сокращает расходы на техническое обслуживание [5].

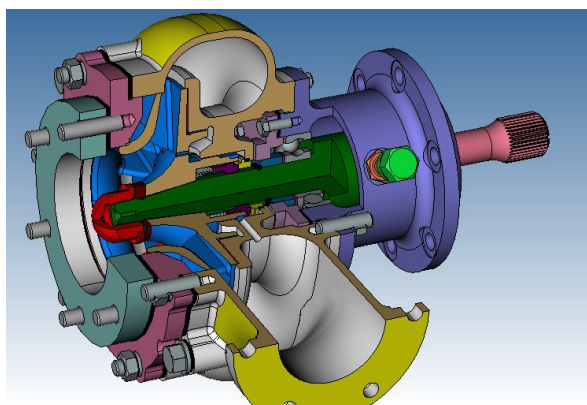


Рис. 5. Насос с внутренним покрытием Belzona 1341 (корпус – белый цвет, рабочее колесо – голубой цвет)



Рис. 6. Корпус насоса с покрытием Belzona 1341

Из-за гидрофобности, Belzona 1341 (Supermetalgilde) повышает КПД насосов, позволяя воде просто скатываться, и таким образом, происходит снижение турбулентности потока. Данное покрытие способствует увеличению КПД до 7% на новых насосах и до 20% на восстановленных.

8. Испытания покрытия

В Британской национальной инженерно-технической лаборатории (N.E.L) были проведены независимые испытания данного материала.

Для этого испытания выбрали одноступенчатый центробежный насос с торцевым всасыванием и впускным и выпускным патрубками размером 10 дюймов. Без покрытия при частоте вращения 1300 об/мин насос подавал 875 м³/ч с напором 26,5 м и общей пиковой эффективностью 83,5%.

При испытании того же насоса с покрытием Belzona 1341 (Supermetalgilde) возник прирост пиковой эффективности на 6%, что позволило сократить расход энергии на 5,1 кВт в рабочей точке (рис.7). Если принять, что рабочий цикл в год составляет 5 000 ч, то экономия энергии за тот период составит до 25 500 кВт·ч [5].

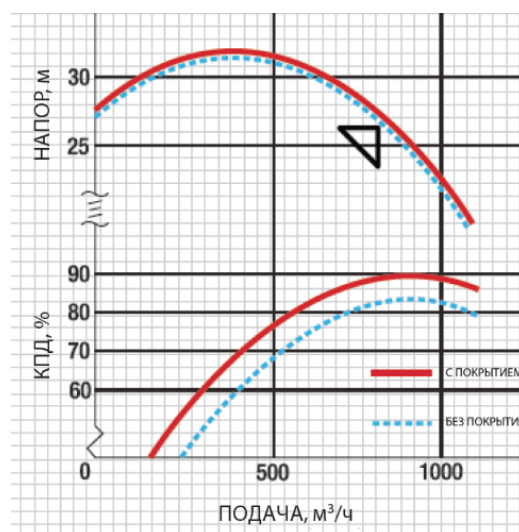


Рис. 7. Напорно-расходная характеристика насоса до и после эксперимента.

Основными преимуществами данного покрытия являются:

- увеличение КПД насосов, трубопроводов, клапанов и другого оборудования;
- длительная защита от эрозии и коррозии;
- хорошая химическая защита от широкого спектра химических веществ;
- покрытие пригодно для контакта с питьевой водой;
- отсутствие растворителя снижает риск причинения вреда здоровью, а также снижает пожароопасность;
- нанесение и отверждение в условиях температуры окружающей среды происходит без использования горячей обработки;
- длительная жизнеспособность;
- отличная адгезия к металлам, включая нержавеющую сталь, сталь, дуплексную сталь, углеродистую сталь, алюминий, чугун, бронзу, специальные сплавы и другие материалы; Belzona 1341 применяется для:
- улучшения производительности центробежных и объемных насосов;
- защиты улиток и лопастей насосов от эрозии и коррозии;
- улучшения внутреннего покрытия трубопровода для потока жидкостей;
- долговременной защиты от коррозии трубных решеток теплообменников, водяных камер и резервуаров;
- снижения нароста материалов в желобах и загрузочных бункерах.

Одно из главных критериев использования данного материала является предельная рабочая температура среды, которая лежит в пределах до 100°C, что и является основным недостатком.

Таким образом, предполагаются следующие результаты применения двухкомпонентного эпоксидного покрытия:

- увеличение подачи на 9,5% на ближайшие 4 года;

- увеличение КПД насоса на 6%;
- увеличение срока безотказной работы на 30%;
- сокращение расхода энергии на 20,4 кВт/ч.

Решение проблемы с помощью использования Belzona выходит стоимостью 9,2% от обычной замены, в то время как ремонт занял бы 5 недель простоя, а реконструкция Belzona заняла бы всего лишь 1,5 недели. Предположительный срок службы покрытия 4 года. По приблизительным подсчетам срок окупаемости данной модернизации составит 3 месяца.

9. Заключение

Таким образом, в ходе данной работы была построена 3D модель центробежного лопастного насоса, на основании которой происходил анализ повреждений при штатной работе реактора.

Произведенный анализ по методам уменьшения повреждаемости металла, а также увеличению эксплуатационной надежности в результате увеличения износостойкости насосов дает возможность сделать следующие выводы:

- периодичность его обслуживания снижается, следовательно, снижаются затраты на электрическую энергию;
- сокращается количество используемых запасных частей для ремонта насоса, что положительно сказывается на снижении затрачиваемых природных ресурсов и финансов, а так же благоприятствует безаварийной работе электростанции в целом.

10. Благодарность

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 центробежного насоса.

Список литературы

1. Агалаков А.С., Зиновьев В.Б., Костин В.И., Новинский Э.Г., Попов В.М. Результаты работ по увеличению ресурса главного циркуляционного насоса реактора РБМК ЦВН-8//Теплоэнергетика. 1997. №4. С.43-45.
2. Киселев Ю.А., Новинский Э.Г., Попов В.М. Модернизация насоса расхолаживания для АЭС//Теплоэнергетика. 1999. №6. С.55-57.
3. Бурого В.Н., Новинский Э.Г., Седенков В.И., Барилович Л.В. Модернизация насоса ЦН 150-110 аварийного расхолаживания активной зоны реактора ВВЭР1000//Электрические станции. 1999. №5. С.44-46
4. Костин В.И., Новинский Э.Г., Попов В.М., Чернов С.А. Применение торцевых уплотнений в насосах общестанционных систем атомных электростанций //Теплоэнергетика. 1999. №5. С.69-71.
5. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.belzona.com/en/products/1000/1341.aspx> (дата обращения: 01.10.2020)

References

1. Agalakov A. S., Zinoviev V. B., Kostin V. I., Novinsky E. G., Popov V. M. Results of work on increasing the resource of the main circulation pump of the RBMK CVN-8 reactor//Heat and power engineering. 1997. No. 4. P. 43-45.
2. Kiselev Yu. A., Novinsky E. G., Popov V. M. Modernization of the cooling pump for nuclear power plants//Heat and power engineering. 1999. No. 6. P. 55-57.
3. Burago V. N., Novinsky E. G., Semenov V. I., Barilovich L. V. Modernization of the pump TSN 150-110 emergency cooling of the core of the VVER1000 reactor//Electric power stations. 1999. No. 5. P. 44-46
4. Kostin V. I., Novinsky E. G., Popov V. M., Chernov S. A. Application of mechanical seals in pumps of general station systems of nuclear power plants //Heat and power engineering. 1999. No. 5. P. 69-71.
5. [Electronic resource] - URL: <https://www.belzona.com/en/products/1000/1341.aspx> (accessed: 01.10.2020)

УДК 550.8+69.07+004.94

РОЛЬ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОРСКИХ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

А. В. Гараджа¹ студент, Е. А. Емченко² канд. техн. наук

¹ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, ул. Университетская, 33, senya.garaja@yandex.ru

² ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Российская Федерация, 299053, ул. Университетская, 33, ellis05@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются особенности строительства морских портовых сооружений на слабых грунтах, а также важность компьютерного моделирования проектов строительства, ибо одной из характерных тенденций развития морского транспорта на современном этапе – непрерывное увеличение грузоподъемности судов и, следовательно, осадки, и сокращение стояночного времени судов в порту. Непосредственным следствием этого является дальнейшее увеличение глубин у причалов и применение высокопроизводительного перегрузочного оборудования. Указанные обстоятельства в свою очередь приводят к укрупнению конструктивных элементов сооружений, повышению нагрузок на опорные части, сокращение сроков ввода сооружения в эксплуатацию является необходимым условием экономического строительства. При этом развитие современных компьютерных технологий позволило перейти от «плоских» карт и разрезов к трехмерным моделям, позволяющим решать как теоретические, так и прогнозные задачи в трёхмерном пространстве. На основе данных бурения скважин, сейсмических профилей и всех видов геофизических данных в цифровом виде строится вероятностная геометрия всех выделяемых геологических тел на глубине. Мощность слоя слабого грунта оказывает прямое влияние на тип конструкции и вид инженерных мероприятий по подготовке слабого основания.

Ключевые слова: портовые сооружения, компьютерное моделирование, слабые грунты, илистые отложения, тиксотропные свойства грунтов, свайный фундамент.

THE ROLE OF COMPUTER MODELING IN THE DESIGN OF SEA PORT FACILITIES ON WEAK SOILS

A. V. Garaja¹ student, E. A. Emchenko² cand. sc. tech.

¹ FSAEI HE Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, Russian Federation 299053, senya.garaja@yandex.ru

² FSAEI HE Sevastopol State University, 33 Universitetskaya st., Sevastopol, Russian Federation 299053, ellis05@mail.ru

Abstract

The article discusses the features of the construction of sea port facilities on weak grounds, as well as the importance of computer modeling of construction projects, because one of the characteristic trends in the development

of sea transport at the present stage is a continuous increase in the cargo capacity of ships and, consequently, precipitation, and a reduction in the parking time of ships in the port. The immediate consequence of this is a further increase in the depth at the berths and the use of high-performance reloading equipment. These circumstances, in turn, lead to the enlargement of the structural elements of structures, increased loads on the supporting parts, and a reduction in the time of commissioning of the structure is a necessary condition for economical construction. At the same time, the development of modern computer technologies has allowed us to move from "flat" maps and sections to three-dimensional models that allow us to solve both theoretical and predictive problems in three-dimensional space. On the basis of well drilling data, seismic profiles, and all types of geophysical data, the probabilistic geometry of all geological bodies at depth is constructed in digital form. The thickness of the weak soil layer has a direct impact on the type of structure and the type of engineering measures for the preparation of a weak foundation.

Keywords: port facilities, computer modeling, weak soils, silt deposits, thixotropic properties of soils, pile foundation.

1. Введение

Опыт Союзморниипроекта и его филиалов показывает, что районы строительства новых портов с благоприятными геологическими условиями во многих случаях использованы. Поэтому новые порты или грузовые районы часто приходится располагать в местах залегания мощных толщ слабых водонасыщенных глинистых грунтов, представленных преимущественно лиманно-морскими илистыми отложениями и водонасыщенными супесями, суглинками и глинами. Ввиду того, что при строительстве портовых сооружений такие грунты встречаются наиболее часто, в статье им уделено преимущественное внимание. Возведение портовых сооружений на плавбунах, водонасыщенных лессах, торфах не рассматривается.

Выход на большие глубины также приводит к необходимости в качестве основания для портовых сооружений использовать слабые глинистые грунты.

Возведение инженерных сооружений на слабых глинистых водонасыщенных грунтах является весьма сложной проблемой портового гидротехнического строительства. Малая несущая способность грунтов, большие величины осадок, значительные сроки их стабилизации — главные причины трудностей, возникающих при решении этой проблемы.

В таких условиях традиционные методы строительства часто оказываются неэкономичными. Использование научных достижений в области расчета, компьютерного моделирования и проектирования позволит снизить стоимость строительства и обеспечить нормальные условия длительной эксплуатации.

Цель и постановка проблемы.

И. Н. Шафир отмечает [1], что очень часто аварии, случившиеся по геологическим причинам, происходили из-за несоответствия проекта или метода производства работ

геологическим условиям. Причинами такого несоответствия является неправильное представление о явлениях, происходящих в грунте под нагрузкой, а также иногда неудовлетворительное проведение геологических изысканий. С этой точки зрения весьма показателен анализ работы сооружений на опорах глубокого заложения, который показал, что 40% всех аварий происходит из-за отсутствия или недостаточности данных о характере залегания грунтов основания, 35% — из-за непонимания явлений, происходящих в грунтовом массиве и неправильной оценки несущей способности оснований; остальные аварии происходят из-за дефектов строительства (15%) и вредного влияния агрессивной среды (10%).

Поэтому при складывающихся обстоятельствах немаловажно построить компьютерную двух и трехмерную модели месторождения, что дает возможность обработки данных геофизических исследований скважин; технические и программные средства построения статической геологической модели, проведение компьютерного подсчета запасов грунтов и их геологических свойств; технические и программные средства динамического моделирования.

Изложение основного материала.

При выборе конструкции портовых сооружений и оценке слабых глинистых грунтов, как оснований для них, большое значение имеют следующие факторы: прежде всего мощность слоя слабого грунта и глубина его залегания. На основании опыта проектирования и возведения морских портовых сооружений можно условно принять примерную градацию мощностей слабого грунта (м): малая мощность — до 5–6, средняя — от 5 – 6 до 15 – 16, большая — свыше 15 –16.

Значительное многообразие напластований слабых грунтов под сооружением можно привести к двум

условным схемам: однородное основание (рис. 1, а), слоистое основание (рис. 1, б).

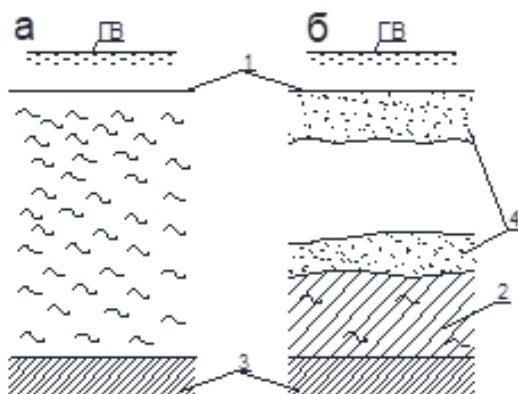


Рис. 1. Напластование грунтов:

- 1 - дно водоема; 2 - слабый грунт;
3 - подстилающий водонепроницаемый
плотный грунт; 4 — песчаный слой.

В случае однородного основания следует обратить внимание на тип и фильтрационную способность подстилающего плотного грунта. Если это водонасыщенный, хорошо фильтрующий песчаный грунт, поровая вода которого имеет выход в открытый водоем, то возможно двустороннее дренирование.

Если слабый грунт подстилается плотным водонепроницаемым грунтом, то дренирование будет односторонним, а сроки консолидации — весьма значительными, и для

их сокращения потребуются специальные инженерные мероприятия.

Низкие показатели прочностных свойств слабых грунтов (угол внутреннего трения и сцепление) в первую очередь отражаются на мероприятиях по обеспечению устойчивости сооружения. При этом нужно иметь в виду, что форсированное приложение нагрузки в этих случаях не допускается, в то же время постепенное ее увеличение способствует упрочнению слабого основания и достижению необходимой устойчивости.

Малая начальная плотность и значительная сжимаемость слабых грунтов приводят к большим осадкам, достигающим по абсолютной величине 10–15% мощности слабого слоя, а иногда и больше. При этом время уплотнения растягивается на годы, а иногда и десятки лет. Чтобы избежать недопустимых деформаций и сократить сроки стабилизации осадок, используют такие технологические приемы, как устройство вертикальных песчаных дрен, проведение предварительной нагрузки слабого основания и т.п. Большее значение имеет также учет тиксотропных свойств, благодаря которым несущая способность слабого грунта после нарушения его структуры восстанавливается.

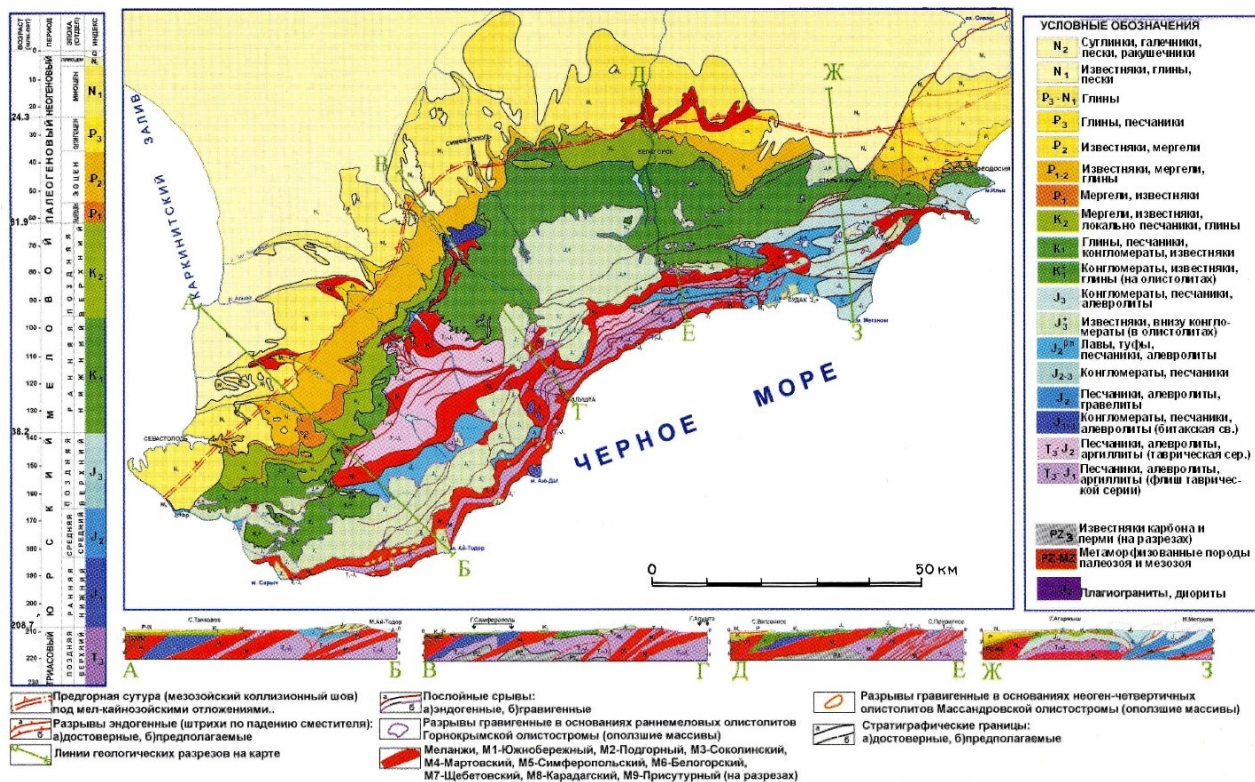


Рис. 2. Инженерно-геологические условия грунта прибрежной зоны Южного берега Крыма

В окрестностях Севастополя в геологическом отношении берега сложены красно-бурыми плиоценовыми и четвертичными глинами с подчиненными им слоями песчаников и конгломератов древнеаллювиального происхождения. Глинистые породы по устойчивости являются легко размываемыми, практически не дающими при разрушении пляже образующего материала. Образование мысов Лукут и Маропул связано с надводным и подводным бронированием берегов глыбами конгломерата. Наибольших высот достигают береговые откосы севернее сел Андреевка и Кача (25—30 м), а также южнее с. Кача и устья Качи (30-32 м). В устьях рек береговые откосы заменяются уступами высотой до 2 м.

Трудности, связанные со строительством инженерных сооружений на слабых глинистых грунтах, обусловлены следующими причинами:

1. В естественном залегании слабые грунты обладают незначительной плотностью. Коэффициент пористости достигает 3–4. Следствием малой плотности является весьма значительная сжимаемость, приводящая при нагрузках 1–1,5 кгс/см² к осадкам, составляющим 10–15% мощности сжимаемого слоя. В связи с этим осадки сооружений на слабых глинистых грунтах достигают больших абсолютных величин (до 1,5–2 м).

2. Уплотнение слабых глинистых грунтов происходит в течение весьма длительного времени. Осадки сооружений, возведенных на них, продолжаются годы, а иногда и десятилетия. Это объясняется очень малой фильтрационной способностью таких грунтов. Величины коэффициента фильтрации колеблются в пределах 10–8 см/с.

3. Слабые глинистые грунты имеют малую прочность. Угол внутреннего трения составляет 210°, сцепление 0,05–0,3 кгс/см². Обеспечить устойчивость конструкции на грунтах с такими характеристиками очень трудно, а часто и невозможно без принятия специальных мер по их повышению. Это в первую очередь относится к сооружениям с постоянно действующими горизонтальными нагрузками, какими в большинстве являются портовые гидротехнические сооружения. Особенно опасным является быстрое приложение нагрузки, часто приводящее к авариям или к недопустимым деформациям. Постепенное приложение нагрузки приводит к уплотнению слабых грунтов и повышению их механических характеристик, а следовательно, к увеличению устойчивости. Однако

наращивание прочности в обычных (естественных) условиях происходит весьма медленно.

4. Слабые водонасыщенные глинистые грунты обладают свойством тиксотропности, заключающимся в резком уменьшении несущей способности при динамическом воздействии на грунт и в восстановлении ее по прошествии некоторого времени после прекращения этого воздействия.

Как видно из изложенного, слабые глинистые грунты практически нельзя использовать в качестве естественных оснований без предварительного улучшения их физико-механических характеристик. Поэтому перед возведением непосредственно сооружения необходимо осуществить специальную подготовку слабого основания, включающую комплекс инженерных мероприятий по повышению прочности и уменьшению декоративности основания путем уплотнения или закрепления слабых грунтов. Выполнение этого комплекса должно входить в состав работ нулевого цикла, кроме того, оно должно предшествовать возведению фундаментной части сооружения.

При этом, компьютерное моделирование создает информационное (создание единой базы данных) и компьютерное (внедрение единообразных и совместимых технических и программных средств) сопровождения трех основных блоков задач при последующем развитии: производственного назначения – формирования геологической и производственной отчетности, анализа текущего геологопромыслового состояния; проектирования разработки – создания моделей состояния прибрежных грунтов, подсчета запасов прочности грунтов для строительства сооружений, динамического моделирования; оперативного управления разработкой на основе сопровождения модели.

На основании вышеизложенного можно сказать, что прибрежные портовые сооружения следует создавать исключительно на свайных фундаментах, при этом нужно учитывать, что:

- Свайные фундаменты следует проектировать на основе результатов инженерных изысканий, выполненных в соответствии с требованиями СП 47.13330, СП 11-104 [2, 3].

При этом выполненные инженерные изыскания должны обеспечить не только изучение инженерно-геологических условий нового строительства, но и

получение необходимых данных для проверки влияния устройства свайных фундаментов на существующие сооружения и окружающую среду, а также для проектирования в случае необходимости усиления оснований и фундаментов существующих сооружений. Проектирование свайных фундаментов без соответствующих достаточных данных инженерно-геологических изысканий не допускается.

- При использовании для строительства вблизи существующих сооружений свай погружаемых или устраиваемых с применением динамических воздействий (забивка, вибропогружение, сваи-РИТ и др.) необходимо производить оценку влияния динамических воздействий на конструкции существующих сооружений, а также на находящиеся в них чувствительные к

колебаниям машины, приборы и оборудование и в необходимых случаях предусматривать измерения параметров колебаний грунта, сооружений (в том числе подземных коммуникаций), а также подземных коммуникаций при опытном погружении и устройстве свай.

- Защиту стальных свай от коррозии допустимо выполнять цинкованием или путем окраски их поверхности составами на основе эпоксидных смол, стойкими к истиранию.

Выводы. Таким образом, при строительстве прибрежных портовых сооружений нужно учитывать множество факторов, начиная от оценки качества грунтов и заканчивая конструктивными особенностями сооружений. Компьютерное моделирование и проектирование в данной области играет незаменимую роль.

Список литературы

1. Шафир И.Н. Причины повреждения портовых оградительных сооружений [текст] / И.Н. Шафир. М.: «Мор. Порт», 2012. – 360 с.
2. СП 47.13330. 2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456045544>
3. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Режим доступа: https://ceiis.mos.ru/deyatelnost/geo/g-sp_11-104-97.pdf
4. Виноградов Е.Б. Современная геология [текст]: научное издание /Е.Б. Виноградов – Екатеринбург : Изд. – во ЕПД, 2007. 81 с.
5. Хаин В.Е. Геология [текст]: учебник для высших учебных заведений/ В.Е. Хаин/ – Москва: Изд-во Московского государственного университета, 2016. – 447 с.
6. Entory J . С точки зрения науки. В недрах земли [текст]: научное издание /J. Entory. – Москва: ИГ «Весь», 2017. – 345с.
7. Исаев, В.Ю. Моделирование в геологии [электронный ресурс] / В.Ю. Исаев – Режим доступа http://www.drtsygeology.ru/materials/Book2/ch_09_model/_model423/index .

References

1. Shafir I. N. Reasons for damage to port protective structures [text] / I. N. Shafir. – M.: "Mor. Port", 2012. – 360 p.
2. SP 47.13330. 2016 Engineering surveys for construction. Basic provisions. Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/456045544>
3. SP 11-104-97. Engineering and geodetic surveys for construction. Access mode: https://ceiis.mos.ru/deyatelnost/geo/g-sp_11-104-97.pdf
4. Vinogradov E. B. Sovremennaya geologiya [Text]: nauchnoe izdanie /E. B. Vinogradov. –Yekaterinburg: Ed. – vo EPD, 2007. –81 p.
5. Hain V. E. Geologiya [Text]: textbook for higher educational institutions/ V. E. Hain/ - Moscow: Moscow State University Publishing House, 2016. - 447 p.
6. Entory J . From the point of view of science. In the bowels of the Earth [text]: scientific edition / J. Entory. - Moscow: IG "All", 2017 – 345 p.
7. Yu. Modeling in geology [electronic resource] / V. Yu. Isaev-Access mode: http://www.drtsygeology.ru/materials/Book2/ch_09_model/_model423/index .

Научное издание

Современные технологии: проблемы и перспективы

Сборник статей
Всероссийской научно-практической конференции
для аспирантов, студентов и молодых ученых
19 - 22 апреля 2021 года

Главный редактор: канд. техн. наук, PhD, доц. О.В. Мухина

Изд. № 87/2021. Объем 25 п.л. Усл. печ. л. 23,25. Уч.-изд. л. 24,5.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»