

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

ISSN:2618-8201

№3 (35)

2024

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования

«Севастопольский государственный университет»

№ 3(35)

2024

Выходит 4 раза год

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сборник научных трудов

Севастополь 2024

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

ВЕСТНИК СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 2024 г. №3 (35)

*Сборник научных трудов. Издание основано в 2016 году. Периодичность - 4 номера в год.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации выдано Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Серия № ФС 77 – 64121 от 25.12.2015 г.*

*Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
и размещается в научной электронной библиотеке (Elibrary.ru)*

*Свидетельство о регистрации в национальном центре ISSN и присвоение международного стандартного номера
серийного издания (International Standard Serial Number) 2618-8201 от 06.07.2018 г.*

В сборнике научных трудов публикуются статьи по следующим научным специальностям:

- 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки;*
- 2.5.6. Технология машиностроения; 2.5.4. Роботы, мехатроника и робототехнические системы;*
- 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами;*
- 2.6.17. Материаловедение; 4.3.3. Пищевые системы.*

Главный редактор:

д.т.н., проф. Братан С.М.

Зам. главного редактора:

д.т.н., проф. Покинтелица Н.И.

Научный редактор:

к.т.н., проф. Харченко А.О.

Отв. секретарь:

к.т.н., доцент Возжзов А.А.

Техн. секретарь:

к.т.н., Стадник Т.В.

Редакционная коллегия

Абдулгасис У.А., д.т.н., проф. (г. Симферополь); Бохонский А.И., д.т.н., проф. (г. Севастополь);

Гусев В.В., д.т.н., проф. (г. Донецк); Дуюн Т.А., д.т.н., доц. (г. Белгород);

Карлов А.Г., к.т.н., доц. (г. Севастополь); Козлов А.М., д.т.н., проф. (г. Липецк);

Куликов Д.А., к.т.н., доц. (г. Москва); Лебедев В.А., к.т.н., проф. (г. Ростов-на-Дону);

Леонов С.Л., д.т.н., проф. (г. Барнаул); Лобанов Д.В., д.т.н., доц. (г. Чебоксары);

Малышева Г.В., д.т.н., проф. (г. Москва); Михайлов А.Н., д.т.н., проф. (г. Донецк);

Носенко В.А., д.т.н., проф. (г. Волжский); Обжерин Ю.Е., д.т.н., проф. (г. Севастополь);

Осипов К.Н., д.т.н., доц. (г. Севастополь); Полтавец В.В., д.т.н., проф. (г. Донецк);

Соколов С.А., д.т.н., проф. (г. Донецк); Суслов А.Г., д.т.н., проф. (г. Брянск);

Федонин О.Н., д.т.н., проф. (г. Брянск); Юшина Ю.К., д.т.н., проф. (г. Москва);

Якубов Ч.Ф., к.т.н., доц. (г. Симферополь); Ярошенко А.А., д.т.н., проф. (г. Севастополь);

Яшонков А.А., к.т.н., доц. (г. Керчь).

Мнение авторов статей, представленных в сборнике научных трудов, может не совпадать с мнением редакции.

Все статьи проходят обязательное рецензирование и проверку сервисом «Антиплагиат».

Издание осуществлено на средства авторов и распространяется бесплатно.

Дата выхода в свет: 20.12.2024 г.

Тираж: 25 экз.

Адрес редакции: 299053, г. Севастополь, ул. Гоголя, д. 14, каб. 222, <http://sevsu.ru/nauka/pechatnye-izdaniya>;

Телефон редакции: 8(692)41-77-41 добавочный 1362; e-mail: vst_sevsu@mail.ru

Адрес издателей: ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», бульвар 50 лет Октября, д.7, Брянск, 241035, Российская Федерация; ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, Севастополь, 299053, Российская Федерация.

Адрес типографии: г. Севастополь, ул. Курчатова 7.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ I МАШИНОСТРОЕНИЕ

<i>Карлов А.Г.</i> Современные алгоритмы поиска и генерации концепций инновационных технологий автоматизации производства.....	4
<i>Мирзоян Н.Ю., Харченко А.О.</i> Надёжность инструмента при резьбонарезании в глухих отверстиях.....	13
<i>Круговой А.Н., Подлесный Д.В.</i> Исследование параметров приводов автоматизированного комплекса сборки печатных плат.....	19
<i>Вожжов А.А., Садыков В.Д., Иванов С.С.</i> Проектирование многофункциональной мобильной роботизированной платформы.....	23
<i>Джемилов Э.Ш., Джабаров О.А, Бегун С.Б.</i> Исследование конструкции станочного приспособления для установки заготовки на зубодолбежной операции методом статического анализа.....	28
<i>Ольшанская И.В., Федоренко С.Н.</i> Определение оптимального количества запасных частей для производственной ячейки.....	33

РАЗДЕЛ II ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Карташов Л.Е., Щербаков А.В., Репинский Б.А.</i> Исследование процесса термоусаживания полимерных пленок упаковки пищевой продукции	38
--	----

РАЗДЕЛ I МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 658.512.2 (075.8)

СОВРЕМЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ ПОИСКА И ГЕНЕРАЦИИ КОНЦЕПЦИЙ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

А.Г. Карлов¹

¹*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия*

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены особенности процессов перехода к цифровой промышленности, в основании которых лежит комплексная автоматизация и роботизация производства, использование автоматизированных систем принятия решений, современных технологий моделирования и проектирования систем. Проанализированы критерии креативного мышления, среди которых умения генерировать новые идеи для решения задач цифровой экономики, абстрагироваться от стандартных моделей: перестраивать сложившиеся способы решения задач, выдвигать альтернативные варианты действий с целью выработки новых оптимальных алгоритмов. Отмечена важность развивать у начинающих инноваторов умения и навыки мыслить парадоксально. Рассмотрены алгоритмы и отечественные программные продукты для оперативной реализации инновационных проектов, такие как ОТСМ-ТРИЗ, АИПС, СМ 2.0. Представлена краткая информация о творческом наследии таких учеников, коллег и последователей создателя ТРИЗ Альтшуллера Г.С., как Хоменко Н.Н. и Шпаковского Н.А. Представлена информация о работе Лаборатории ТРИЗ-ОТСМ технологий целевого изобретательства в Политехническом институте СевГУ и её значимости для процессов развития компетенций креативного мышления студентов и аспирантов.

Ключевые слова: инновация; прогнозирование; роботизированная техника и технология; систематизации инноваций; Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), Общая теория сильного мышления (ОТСМ), Алгоритм исправления проблемных ситуаций (АИПС).

MODERN ALGORITHMS FOR SEARCHING AND GENERATION OF CONCEPTS OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF PRODUCTION AUTOMATION

A.G. Karlov¹

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

ABSTRACT

The features of the processes of transition to the digital industry are considered, which are based on complex automation and robotization of production, the use of automated decision-making systems, modern modeling and system design technologies. The criteria of creative thinking are analyzed, including the ability to generate new ideas for solving problems of the digital economy, to abstract from standard models: to rebuild existing ways of solving problems, to put forward alternative options for action in order to develop new optimal algorithms. The importance of developing paradoxical thinking skills among novice innovators was noted. Algorithms and domestic

software products for the operational implementation of innovative projects, such as OTSM-TRIZ, AIPS, SM 2.0, are considered. Brief information about the creative heritage of such students, colleagues and followers of the creator of TRIZ Altshuller G.S., as Khomenko N.N. and Shpakovsky N.A. is presented.

Keywords: innovation; forecasting; robotic equipment and technology; systematization of innovations; Theory of inventive Problem solving (TRIZ), General Theory of Strong Thinking (OTSM), Algorithm for correcting problematic situations (AIPS).

Введение. Переход на цифровые технологии всех отраслей экономики нашей страны должен значительно повысить эффективность отечественной промышленности и аграрного сектора.

Цифровая промышленность – это система инновационных отраслей, в основании которых лежат современные технологий моделирования и проектирования систем, комплексная автоматизация и роботизация производства. Главные цели цифровизации это значительный рост производительности труда и обеспечение суверенитета отечественных технологий и техники. Для реализации этих целей нужны значительные системные сдвиги в подготовке специалистов, инженеров, учёных, способных мыслить творчески, нестандартно. Такие специалисты должны иметь навыки работы с алгоритмами, отечественными программными продуктами, позволяющими ускорить получение финального результата проектирования инновационных объектов.

Инновационные проекты в различных отраслях промышленности, начинаются с поиска базовой концептуальной идеи. Если найденная авторами проекта идея существенно отличается от её аналогов, то только тогда имеет смысл получить патент на устройство или способ, а уже затем заинтересовать потенциальных инвесторов вложить финансы в создание и производство перспективного изделия или технологии. И только тогда можно с уверенностью утверждать, что проект носит инновационный характер. Инновации обычно подразделяют на радикальные, улучшающие и модификационные. Способность инженерных кадров и учёных создавать и эффективно внедрять инновации любого типа зависит от степени подготовленности специалиста к деятельности подобного рода.

К компетенциям специалистов, которые упомянуты в перечне ключевых компетенций цифровой экономики (ККЦЭ) [1] относят следующие:

Саморазвитие в условиях неопределённости: знать как и уметь ставить себе образовательные цели под возникающие жизненные задачи, подбирать способы решения и средства развития (в том числе с использованием цифровых средств) других необходимых компетенций.

Креативное мышление: знать, как развивать способности человека, генерировать новые идеи для решения задач цифровой экономики, уметь абстрагироваться от стандартных моделей: перестраивать сложившиеся способы решения задач, выдвигать альтернативные варианты действий с целью выработки новых оптимальных алгоритмов.

Критическое мышление в цифровой среде: знать как и уметь проводить оценку информации, её достоверность, строить логические умозаключения на основании поступающих информации и данных.

Остановимся более подробно на особенностях формирования такой компетенции как «Креативное мышление». Она предполагает развивать способности человека генерировать новые идеи для решения задач цифровой экономики, уметь абстрагироваться от стандартных моделей: перестраивать сложившиеся способы решения задач.

Реализация на практике процессов формирования такой компетенции требует обобщения мирового опыта подготовки студентов, аспирантов, конструкторов и технологов компаний-

лидеров, которые ставят своей задачей стать профессиональными «решателями неразрешимых проблем» междисциплинарного характера.

Целью настоящего исследования является выявление и анализ современных алгоритмов поиска и генерации концепций инновационных технологий автоматизации производства, процедур, инструментов, этапов поиска оригинальных идей. В различных отраслях промышленности и аграрного сектора экономики РФ утверждены и успешно выполняются программы цифровизации, способствующие ускорить создание отечественных инновационных технологий, средств автоматизации и роботизации. Так, например, целями проекта «Цифровое сельское хозяйство» являются цифровая трансформация сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в АПК и достижения роста производительности труда на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях в 2 раза к 2024 году.

Однако, как в программе «Цифровое сельское хозяйство», так и в аналогичных программах других отраслей экономики РФ нет выделенного направления развития технологий поиска и формирования концептуальных решений инновационных устройств, систем и технологий. Цифровизация отраслей не решает всех проблем создания инновационных проектов и технологий. Очень важно развивать у начинающих инноваторов умения и навыки мыслить парадоксально. Подобные технологии построены на современных алгоритмах и программных продуктах, в основе которых ТРИЗ-ОТСМ («Теория решения изобретательских задач» и «Общая теория сильного мышления»). Это одна из наиболее апробированных и успешных технологий создания базовых концептов.

Эти алгоритмы и отечественные программные продукты для реализации упомянутых выше проектов описаны в источниках [2,3,4,5]. В этих публикациях авторы представили и классическую ТРИЗ, и ОТСМ. Это известная и популярная во всём мире теоретическая основа инструментов для решения нестандартных проблем.

Следует отдать должное памяти авторов этих работ. Как Хоменко Н.Н., так и Шпаковский Н.А. достаточно известные во всём мире эксперты, авторы теоретических и практических положений, инструментов, алгоритмов и программных продуктов, которые в настоящее время применяются во многих странах создателями инновационных проектов мирового уровня и значимости. Николай Хоменко закончил Радиотехнический институт в Минске. Работал в различных НИИ и в конце 80-х годов познакомился со своим первым учителем Цуриковым Валерием, который заинтересовал Николая особенностями ТРИЗ и его возможностями. Затем Хоменко Н.Н. изучал ТРИЗ под индивидуальным руководством его создателя Альтшуллера Г.С. с 1982 по 1998 годы. С 1985 года Хоменко Н.Н. занялся исследованием и развитием ОТСМ («Общая теория сильного мышления»). С 1986 по 1998 год Николай лидер и руководитель Минской школы ОТСМ-ТРИЗ. А в 1987 – 1989 Хоменко Н.Н. с коллегами начал работы над 1-ым прототипом системы «Изобретающая машина» на персональном компьютере в квартире В.М. Цурикова. С 1989 года Хоменко Н.Н. соучредитель Научно-исследовательской Лаборатории Изобретающих Машин (НИЛИМ). Он член совета директоров НИЛИМ, в 1989 – 1990 - системный архитектор в проекте «Изобретающая машина 1.0», а в 1991 – 1993 г.г. проекта «Изобретающая машина 1.5». Николай Хоменко заложил фундамент системного подхода к анализу проблем; формировал и развивал команды ОТСМ-ТРИЗ педагогов на базе созданного им проекта «Джонатан Ливингстон», которые впитали его идеи.

В 1997 году Николай стал первым приглашенным русскоязычным профессором, ТРИЗ экспертом в решении проблем, руководителем исследовательской группы по решению проблем в LG-Electronics Production and Engineering Research Center (Pyangtake, South Korea), а в 1999 – в LG-Electronics Learning Center (Pyangtake, South Korea).

А в 2000 - 2003 Хоменко Н.Н. первый русскоязычный приглашенный профессор, коуч и тренер в области управления знаниями для решения проблем компании Samsung Electronics Advanced Institute of Technology (Suwon, South Korea). В июне 2000 г. была создана группа ТРИЗ в составе Нуо June Kim и Николая Шпаковского. Группа ТРИЗ занималась проектами и решением задач.

В Самсунг вместе с этими экспертами позже работали много тризовцев из Санкт-Петербурга, Минска и других городов России и Белоруссии. Они решали задачи, учили и поддерживали корейских специалистов. Была проделана огромная работа именно по организации системного изобретательства. Специалисты из «Изобретающей Машины» определили динамику патентования специалистами Самсунга. Они рассуждали так. Если ТРИЗ эффективна, то можно было бы наблюдать рост количества патентов, получаемых в год. Если ТРИЗ неэффективна, то никакого роста не будет, скорее можно говорить о снижении. Хоменко Н. и Шпаковский Н. проанализировали статистику и сами удивились своим выводам. Количество патентов в год, полученных сотрудниками Самсунга в период активной работы специалистов ТРИЗ с 2000 по 2007 годы возросло в 14 раз [3].

По приглашению ректора INSA (Страсбург, Франция) Николай Хоменко с 1999 по 2010 год работал профессором этого Университета. Результаты его работы как учёного, преподавателя, решателя проблем и руководителя аспирантов и сотрудников INSA очень значимы. С 2004 по 2009 Н. Хоменко - научный руководитель уникальной программы: Advanced Master in Innovative Design (Продвинутый Мастер Проектирования Инноваций) для специалистов и руководителей проектных отделов и научно-исследовательских центров.

Этот опыт был одобрен Министерством образования Франции. А затем Программа была аккредитована международной ассоциацией вузов Conference Des Grand Ecoles.

Это был первый опыт в мире в области образования, который позволил обеспечить образовательный и научный уровень Магистра Проектирования Инноваций, причём инвариантно к профилю первоначального технического образования.

Как эксперт и тренер Николай Хоменко принимал участие в решении комплексных междисциплинарных проблемных ситуаций по приглашению ведущих компаний мира.

Среди его клиентов: Samsung, LG-Electronics, Пежо-Ситроен, Форд, Европейское аэрокосмическое агентство (EADS), Bosh-Siemens, Bombardier, European Institute for Energy Research, Forecia, ArvinMeritor, Буржуа-Шанель и т.д.

В последние годы своей жизни Николай Хоменко принимал активное участие в конференциях, симпозиумах, проводил обучающие семинары в Белоруссии, России, Франции, Италии, Великобритании, США, Мексике, Корее, Японии, Иране, Италии, Голландии, Германии, Чехии и других странах. Такие семинары Хоменко Н.Н. проводил и СевГУ на кафедрах автоматизации и технологии Политехнического института еще в 80-е и 90-е годы.

Учеником и коллегой Хоменко Н.Н. в этой области творческой деятельности был все эти годы Шпаковский Н.А., к.т.н., Мастер ТРИЗ. Он присоединился в 90-е годы и работал в коллективе Проекта «Изобретающая Машина» (1995 – 2000) руководителем логической части модуля «Прогноз» (Минск, Беларусь). Затем был ТРИЗ консультантом 2000 - 2003: в Институт передовых технологий (SAIT), SAMSUNG, а в 2004 – 2005 в SAMSUNG SDI., Суwon, Корея. Позже в 2010-2014 Шпаковский Н.А. был приглашен ТРИЗ консультантом и преподавателем в сталелитейную компанию POSCO, Поханг, Корея.

Шпаковский Н.А. автор многочисленных и популярных монографий и учебных пособий по ОТСМ-ТРИЗ технологиям творчества [7,8,9,10]. Им создан сайт – «Дистанционный учебный курс «ТРИЗ-тренер» [6]. В соавторстве со Шпаковским Н.А. автором этой статьи подготовлено и издано учебное пособие. В этой книге подробно отражена история развития изобретательства в мире, хронология создания и развития отечественных программных продуктов генерации

инновационных проектов, представлены примеры работы с софтом Solving Mill-2.0 и его результативности в процессе создания инновационных проектов в различных сферах промышленности и аграрного сектора [2].

Благодаря многолетнему творческому сотрудничеству автора этой статьи с Хоменко Н.Н и Шпаковским Н.А. в Севастопольском государственном университете стартовала работа Лаборатории ТРИЗ-ОТСМ технологий целевого изобретательства. Для этой Лаборатории ТРИЗ-ОТСМ СевГУ приобретено современное компьютерное оборудование, разработаны программы дополнительного профессионального образования (ДПО целевого изобретательства).

В сентябре 2021 года студенты Политехнического института и других подразделений СевГУ различных направлений обучения получили доступ к новому программному продукту Solving Mill-2.0. Этот современный софт обеспечивает поддержку изобретательской деятельности и относится к типу CAI (Computer Aided Innovation) - Автоматизация инновационных процессов. Софт предлагается в варианте применения SaaS (Software as a Service) - Облачное программное обеспечение. Профессиональное применение Solving Mill-2.0 позволяет обеспечить: повышение функциональности инновационных продуктов; снижение себестоимости продукта; устранение проблемных ситуаций на производстве.

Софт построен на использовании инструментов ОТСМ-ТРИЗ. Авторы разработки из Минска Шпаковский Н.А. и его коллеги – решатели задач, изобретатели с опытом работы на «передовой целевого изобретательства» (Samsung, POSCO, Škoda, Midea и др.). Софт направляет пользователя к сильному решению наиболее быстрым и результативным маршрутом. Ядро структуры софта – это гибкий диалоговый темплейт, заполняя который пользователь, собственно, и решает задачу. Вся сопутствующая информация структурирована таким образом, чтобы эффективно поддерживать процесс решения. Даны подробные разборы задач (кейсы), выполненные консультантами-решателями. Софт обеспечивает поддержку процесса решения нетривиальных технических задач: от анализа проблемной ситуации до проверки эффективности полученного решения. Важно подчеркнуть, что *эти задачи могут быть связаны с процессами разработки, производства, хранения, транспортировки, продажи продукции, организации работы предприятия, рекламы* и т.п.

Алгоритм решения задач и инструменты программы универсальны для проблем из любых областей техники. Могут применяться для других видов деятельности, где возникают нетривиальные задачи. Подобные задачи, как правило, не удаётся решить традиционными способами. Нужны решения, выходящее за пределы опыта и профессиональных компетенций решателя (так называемые изобретательские задачи). Предусмотрена поддержка командной работы над проектом.

В финале диалога решателя с софтом пользователь имеет: решённую проблему; зафиксированный процесс работы над проблемой в виде хорошо структурированных текстов, рисунков, схем; заготовку формулы изобретения, которая автоматически компилируется на основе внесённых данных. Это не просто формальный отчёт по проекту, но документ, где изложена вся логика полученных решений и выводов – убедительные аргументы при защите полученных решений перед руководством [2,6,7,8,9,10].

Часто потенциальный пользователь задаёт такой вопрос. А что является теоретической и методической основой Solving Mill-2.0? Теоретическая основа: ОТСМ-ТРИЗ, а также смежные дисциплины. А вот в качестве методическая основа применён алгоритм исправления проблемных ситуаций (АИПС-2015).

Руководитель проекта Шпаковский Н.А. в своих публикациях и лекциях подчёркивал, что практическая основа софта это многолетний опыт решения производственных задач и

организации системного изобретательства на крупнейших мировых компаниях, где он работал много лет. Это такие компании как САМСУНГ, ПОСКО (Республика Корея) и другие.

Пользователи всегда интересуются базовыми знаниями, которые легли в основу софта. На этот вопрос разработчики отвечают встречным вопросом. А именно – а что из ОТСМ-ТРИЗ и системного анализа используется в Solving Mill-2.0? И сами отвечают на этот вопрос так.

В основу логики софта положены следующие методы: анализ процессов; структурно-функциональный анализ; моделирование элементарной технической системы; вредная система; причинно-следственный анализ; системный оператор; приёмы разрешения технических и физических противоречий; портрет ресурса; линии развития технических систем.

Справочно также используются: вепольное моделирование; система стандартных решений; ММЧ (метод маленьких человечков) и прочее.

Перед принятием решения о покупке лицензии на данный софт, важно понимать а как работать с Solving Mill-2.0? Пользователь заполняет темплейт (карту решения): помещает туда описания, иллюстрации, схемы, выводы и другой контент, который генерируется по ходу работы с задачей. Нужные действия выполняются в операторах. Результат работы в каждом из операторов помещается в темплейт, а вся наработанная вспомогательная информация хранится внутри оператора. Предусмотрено автоматическое генерирование идей решения задачи. Заполненный темплейт даёт полную и наглядную информацию обо всех шагах работы с задачей. На основе темплейта формируется отчёт о ходе решения в формате html.

Смогут ли пользователи работать с Solving Mill-2.0 без специального обучения?

Да. Пользователь решает задачу, отвечая на задаваемые программой вопросы на естественном языке. Значения используемых терминов и суть необходимых действий поясняются в подсказках к шагам. Дополнительно понять общую логику решения помогут проекты-примеры (кейсы) и справка с описанием используемых инструментов. Кроме того, в софте имеются средства для выработки **навыка** решения задачи. Повысить результативность выполнения проектов поможет и дистанционный учебный курс «ТРИЗ-тренер» [6]. Курс построен на процессе решения задачи, который полностью соответствует алгоритму Solving Mill-2.0 Учащийся самостоятельно решает несколько десятков задач различной сложности, и получает **обратную связь от преподавателя**. На каждый шаг процесса решения даны подробные инструкции, разъяснения и многочисленные примеры.

Разработчики этого программного продукта создали софт-собеседник, способный вести пользователя по процессу решения задачи, не забегая вперед, учитывая все ответы решателя проблемы и максимально автоматизируя его работу. Компьютерная программа получилась недорогой, доступной для широкого круга пользователей и в тоже время достаточно эффективной. Авторы софта избежали двух крайностей – не упростили софт до примитивности, и не переусложнили его.

Чтобы удовлетворить требованиям простоты, алгоритм содержит минимальное количество ключевых, реперных точек, которые надо пройти при решении задачи. Требование сложности удовлетворяется тем, что переход между точками алгоритма может осуществляться самыми разными способами - от простой догадки, до применения самых сложных и эффективных инструментов ОТСМ-ТРИЗ. То есть, алгоритм пошагово ведёт решателя от точки к точке, показывая, какой результат он должен получить после каждого шага [2,6,7,8,9,10].

Методы выполнения шагов конкретизируются в каждом конкретном случае. Такой алгоритм представляет собой **фрактальный кластер, древовидную структуру**.

Переходы между точками это мини-алгоритмы применения инструментов ОТСМ-ТРИЗ и правил выполнения дополнительных шагов. Мини-алгоритмы можно уточнять и развивать до бесконечности, закрывая при этом все основные типы решаемых задач, но основные шаги алгоритма при этом не меняются.

Такое понимание процесса решения изобретательской задачи и было положено в основу алгоритма исправления проблемных ситуаций, АИПС [3, 9].

Алгоритм был протестирован на компаниях SAMSUNG и POSCO (Южная Корея) при многолетней работе с практическими изобретательскими задачами из области микроэлектроники, полупроводников, металлургии, медицины, дисплеев различных типов, производства домашней техники и т.д. [9]. Он показал высокую эффективность. На его основе позже и была разработана компьютерная программа Solving Mill (SM). В процессе работы над этим алгоритмом, а позже, и при создании самого компьютерного продукта SM, авторы задались вопросом: можно ли научить всех решателей думать и действовать при решении задачи единообразно и нужно ли вообще ставить такую цель? Похоже, это невозможно – все люди мыслят по-разному.

Базируясь на выше изложенных рассуждениях, Н.А. Шпаковский решил выделить универсальные задачные ситуации и типовые действия при улучшении проблемных ситуаций. Затем можно наметить контрольные вопросы, одинаковые для большого класса задач. Основываясь на многолетнем опыте решения почти неразрешимых проблем, автор создал Алгоритм АИПС-2015 (см. рис.1), который предназначен для исправления проблемных ситуаций, включающих один **нежелательный эффект**.

Нежелательный эффект — это внешнее проявление несовершенства существующей машины либо предполагаемый недостаток проектируемой машины или технологического процесса. Нужно изучить машину и выполняемый ею процесс, обнаружить «больное место» в ней и чётко сформулировать *задачи* по устранению недостатка. Затем требуется решить эти задачи. На основе полученных *решений* строится **техническое предложение**. Остаётся проверить — помогает ли предлагаемое изменение машины избавиться от нежелательного эффекта и улучшить ситуацию.

Алгоритм АИПС-2015, как и любая система, может быть представлен различными моделями. На рис. 1 и 2. показаны две таких модели: развернутая, имеющая линейную компоновку, и свернутая в замкнутую структуру (такую схему часто называют «Рождественская Ёлка»).

Алгоритм АИПС-2015 предназначен для **исправления проблемных ситуаций, включающих один нежелательный эффект**.

Нежелательный эффект — это внешнее проявление несовершенства существующей машины либо предполагаемый недостаток проектируемой машины или технологического процесса. Нужно изучить машину и выполняемый ею процесс, обнаружить «больное место» в ней и чётко сформулировать *задачи* по устранению недостатка. Затем требуется решить эти задачи. На основе полученных *решений* строится **техническое предложение**. Остаётся проверить — помогает ли предлагаемое изменение машины избавиться от нежелательного эффекта и улучшить ситуацию.

Подробное описание алгоритма представлено в [2,3,9]. Познакомимся вкратце с содержанием каждого из этапов решения задачи. Работа с алгоритмом начинается с описания исходной **проблемной ситуации**. Выход алгоритма – **улучшенная ситуация**, то есть **проблемная ситуация без нежелательного эффекта**. Цель работы с алгоритмом - исправить некоторую проблемную ситуацию, в которой содержится нежелательный эффект, явление, не устраивающее заказчика. Для исправления проблемной ситуации предусмотрено три этапа (рис. 3).

Сначала идёт **аналитический этап** – мы разбираемся в ситуации, пытаемся понять, почему возникает нежелательный эффект, и при каких условиях его бы не было. Этот этап полностью совпадает с технологией ОТСМ «Новая проблема», которая описывает процесс анализа исходной ситуации [2,3,9].

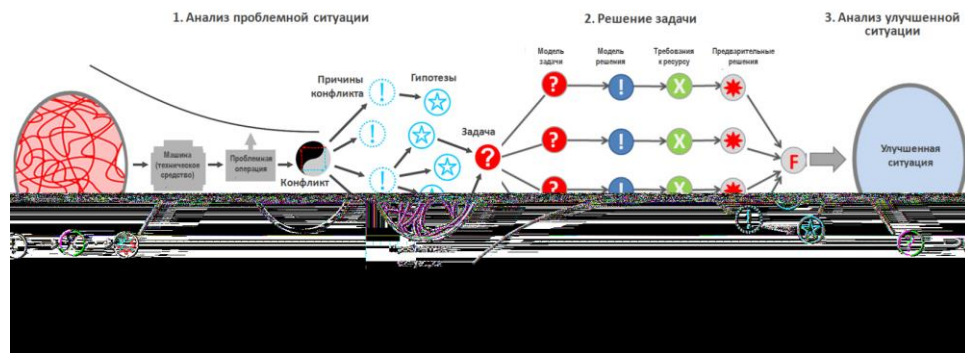


Рисунок 1. Развернутая линейная схема алгоритма АИПС-2015 [3,9]

Начинается анализ с уточнения проблемной ситуации, выделения нежелательного эффекта. Затем следует переход на уровень технического средства, машины, работа которой имеет отношение к проблемной ситуации. Эта часть работы направлена на сужение поля поиска и выделения конфликтного взаимодействия компонентов системы. Далее нужно разобраться, какие причины вызывают конфликт, и выдвинуть рабочие гипотезы, каким образом можно устранить эти причины. Заключительное действие аналитического этапа – формулирование задач.

На втором этапе мы решаем задачу, т.е. находим, как создать условия, при которых нежелательный эффект не будет появляться. Для решения выделенной задачи используются технологии ОТСМ «Типовое решение» и «Противоречие». То есть, нужно на основе условия задачи построить ее модель, трансформировать ее в модель решения, определить нужные ресурсы и найти идею решения. Решательный этап алгоритма имеет ту особенность, что применяемые инструменты составляют единую систему, что повышает эффективность их применения.

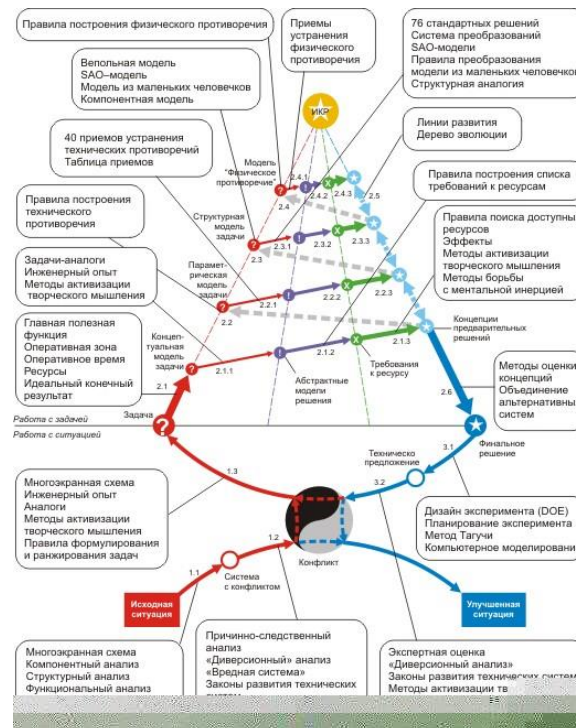


Рисунок 2. Развернутая схема алгоритма - «Рождественская Ёлка» [2,3,9].

И, наконец, на третьем этапе (рис. 3) снова нужно проанализировать ситуацию – увенчались ли наши старания успехом, удалось ли избавиться от недостатка. Третий этап нужен, прежде всего, при решении реальных производственных задач. Он носит проверочный характер и позволяет лучше привязать решение задачи к условиям конкретного производства [3.9].



Рисунок 3. Этапы исправления проблемной ситуации [3.9].

По сути дела, алгоритм АИПС-2015 объединяет все технологии ОТСМ: «типовое решение», «противоречие», «новая проблема» и «поток проблем». Однако в алгоритме порядок применения этих технологий изменен. Сначала необходимо проанализировать проблемную ситуацию (технология «новая проблема»), затем решить выделенные задачи (технологии «типовое решение» и «противоречие»). Если после проверки окажется, что полученное решение задачи устраняет нежелательный эффект, сам ход решения повторяется, т.е. работает технология «поток или сеть проблем».

Заключение.

1. Проведенный анализ современных алгоритмов поиска и генерации концепций инновационных технологий автоматизации производства, процедур, инструментов, этапов поиска оригинальных идей показал целесообразность применения для таких работ отечественный алгоритм АИПС-2015 и построенный на его основе программный продукт Solving Mill-2.0 (SM 2.0).
2. Эффективность применения этого алгоритма и программного продукта SM 2.0. неоднократно доказана на сотнях решённых проблем для многочисленных известных компаний в РФ и за рубежом.
3. Опыт освоения студентами и аспирантами Политехнического института СевГУ программного продукта Solving Mill-2.0 показал явный рост таких умений и навыков как креативное мышление, способность генерировать новые идеи для решения задач цифровой экономики, абстрагироваться от стандартных моделей: перестраивать сложившиеся способы решения задач.

Список литературы

1. Список ключевых навыков для цифровой экономики и перечень ключевых навыков для цифровой экономики. Источник: <https://profstandart-rosmintrud.ru/spisok-klyuchevyx-navykov-dlya-cifrovoj-ekonomiki-i-perechen-klyuchevyx-navykov-dlya-cifrovoj-ekonomiki/> | profstandart-rosmintrud.ru

2. Карлов А.Г., Шпаковский Н.А. Идеи, изобретения, инновации в сфере автоматизации технологий и технических систем: учебное пособие. — М.: Центр каталог, 2019. — 536 с. — (Вузовский учебник).
3. Шпаковский Н.А. ОТСМ-ТРИЗ. Подходы и практика применения. — М.: Инфра-М, 2018 г. 348 с.
4. N. Khomenko. «General Theory on Powerful Thinking (OTSМ): Digest of Evolution, Theoretical Background, Tools for Practice and Some Domain of Application». Tokyo, 2010. URL: <http://jlproj.org>.
5. Хоменко Н.Н., Аштиани М. Классическая ТРИЗ и ОТСМ как теоретическая основа инструментов для решения нестандартных проблем. URL: http://www.jlproj.org/this_bibl/KNN_ETRIA.RUS11.pdf
6. Дистанционный учебный курс «ТРИЗ-тренер». Автор Шпаковский Н.А. triztrainer.ru. Минск.2021.
7. Шпаковский Н.А., Новицкая Е.Л. ТРИЗ. Практика целевого изобретательства. Учебник. - М.: Форум, 2011. - 336 с. - (Высшее образование).
8. Софт Solving Mill. URL: <http://www.solving-mill.com/>
9. ТРИЗ. Анализ технической информации и генерация новых идей:/ учебное пособие/ Шпаковский Н.А. — 2 изд. стер. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2023. — 264 с. — (Высшее образование).
10. Софт Solving Mill. Программный продукт для поддержки изобретательской деятельности. Буклет компании target-invention.ru.

УДК 621.7

НАДЁЖНОСТЬ ИНСТРУМЕНТА ПРИ РЕЗЬБОНАРЕЗАНИИ В ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЯХ

*Н.Ю. Мирзоян¹,
А.О. Харченко¹*

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

Представлен граф состояний инструмента, на основе которого разработаны марковская и полумарковская математические модели. Модели описывают влияние процесса формообразования мелкогабаритной внутренней резьбы в глухих отверстиях на надёжность инструмента (метчика). Представленные результаты моделирования показали целесообразность использования полумарковской системы для дальнейших расчетов. Это позволяет получить более точную информацию о реальных потерях времени в процессе резьбообработки из-за наступления отказов, переналадок и восстановлений. Применение разработанной полумарковской модели будет служить для оптимизации процесса формообразования внутренней резьбы на основе совершенствования цикла обработки, конструкций инструмента и оборудования, так как более точно отражает влияние нахождения инструмента в каждом из возможных состояний его системы на надёжность и производительность.

Ключевые слова: внутренняя резьба, полумарковская система, алгоритм фазового укрупнения, функция распределения, вероятности переходов, метод траекторий.

TOOL RELIABILITY DURING THREADING IN BLIND HOLES

N.Y. Mirzoyan¹,
A.O. Kharchenko¹

¹ Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

A graph of the instrument states is presented, on the basis of which Markov and semi-Markov mathematical models are developed. The models describe the influence of the shaping process of small-sized internal threads in blind holes on the reliability of the tool (tap). The presented simulation results showed the expediency of using a semi-Markov system for further calculations. This allows you to get more accurate information about the actual loss of time during the threading process due to failures, changeovers and restorations. The application of the developed semi-Markov model will serve to optimize the process of forming internal threads based on improving the processing cycle, tool designs and equipment, as it more accurately reflects the impact of finding the tool in each of the possible states of its system on reliability and performance.

Keywords: internal thread, semi-Markov system, phase enlargement algorithm, distribution function, transition probabilities, trajectory method.

Введение. В настоящее время весьма актуальна задача совершенствования процесса формообразования мелкокоразмерной (М2...М6) внутренней резьбы метчиком в труднообрабатываемых материалах. Поломка метчика или его деформация приводят к появлению брака и снижению производительности, что вызывает значительные потери в производстве [1]. Для контроля данного процесса необходимо учитывать все возможные состояния инструмента. Для дальнейшей оптимизации процесса формообразования внутренней резьбы необходимо разработать математическую модель, учитывающую состояния метчика, влияющие на его надежность. Размеченный граф состояний системы инструмента представлен на рисунке 1. Система может находиться в следующих состояниях: S_1 – безотказная работа; S_2 – переналадка; S_3 – параметрический отказ; S_4 – отказ функционирования.

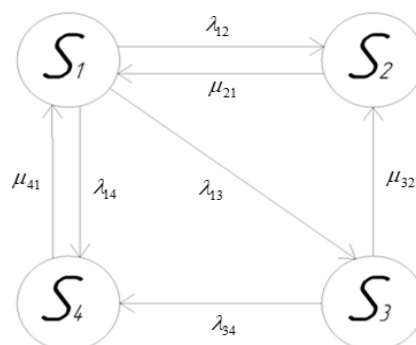


Рисунок 1. Граф состояний инструмента, где λ_{ij} , μ_{ij} – интенсивности перехода и возврата из соответствующих состояний

Для определения вероятностей нахождения указанной системы в каждом из состояний обозначим: P_1 – вероятность нахождения системы в состоянии безотказной работы инструмента S_1 ; P_2 – вероятность нахождения системы в состоянии переналадки инструмента S_2 ; P_3 – вероятность нахождения системы в состоянии параметрического отказа инструмента S_3 ; P_4 – вероятность нахождения системы в состоянии отказа функционирования инструмента S_4 .

Уравнения для финальных вероятностей P_1, P_2, P_3, P_4 состояний S_1, S_2, S_3, S_4 можно представить в виде системы уравнений А.Н. Колмогорова:

$$\begin{cases} (\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}) \cdot P_1 = \mu_{21} \cdot P_2 + \mu_{41} \cdot P_4 \\ \mu_{21} \cdot P_2 = \lambda_{12} \cdot P_1 + \mu_{32} \cdot P_3 \\ (\mu_{32} + \lambda_{34}) \cdot P_3 = \lambda_{13} \cdot P_1 \\ \mu_{41} \cdot P_4 = \lambda_{34} \cdot P_3 + \lambda_{14} \cdot P_1 \end{cases} \quad (1)$$

Решение системы уравнений (1) с помощью условия нормировки $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$ позволяет получить выражения для P_1, P_2, P_3, P_4 следующего вида:

$$\begin{aligned} P_1 &= (\mu_{21} \cdot \mu_{41} \cdot (\mu_{32} + \lambda_{34})) \cdot (\lambda_{12} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{41} + \lambda_{12} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{41} + \lambda_{13} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{41} + \lambda_{13} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{21} + \lambda_{13} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41} + \\ &+ \lambda_{14} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{21} + \lambda_{14} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{21} + \mu_{32} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41} + \lambda_{34} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41})^{-1}; \\ P_2 &= ((\lambda_{12} \cdot \mu_{32} + \lambda_{12} \cdot \lambda_{34} + \lambda_{13} \cdot \mu_{32}) \cdot \mu_{41}) \cdot (\lambda_{12} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{41} + \lambda_{12} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{41} + \lambda_{13} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{41} + \lambda_{13} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{21} + \\ &+ \lambda_{13} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41} + \lambda_{14} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{21} + \lambda_{14} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{21} + \mu_{32} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41} + \lambda_{34} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41})^{-1}; \\ P_3 &= (\lambda_{13} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41}) \cdot (\lambda_{12} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{41} + \lambda_{12} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{41} + \lambda_{13} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{41} + \lambda_{13} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{21} + \lambda_{13} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41} + \lambda_{14} \cdot \mu_{32} \cdot \\ &\cdot \mu_{21} + \lambda_{14} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{21} + \mu_{32} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41} + \lambda_{34} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41})^{-1}; \\ P_4 &= (\mu_{21} \cdot (\lambda_{13} \cdot \lambda_{34} + \lambda_{14} \cdot \mu_{32} + \lambda_{14} \cdot \lambda_{34})) \cdot (\lambda_{12} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{41} + \lambda_{12} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{41} + \lambda_{13} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{41} + \lambda_{13} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{21} + \\ &+ \lambda_{13} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41} + \lambda_{14} \cdot \mu_{32} \cdot \mu_{21} + \lambda_{14} \cdot \lambda_{34} \cdot \mu_{21} + \mu_{32} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41} + \lambda_{34} \cdot \mu_{21} \cdot \mu_{41})^{-1}. \end{aligned}$$

Примем значения интенсивностей с учетом реальных показателей наработок на отказы инструмента, среднего времени между переналадками, а также среднего времени восстановления после отказов, и среднего времени переналадки, ψ^{-1} : $\lambda_{12} = 0,007 \cdot 10^{-3}$; $\mu_{21} = 12,408 \cdot 10^{-3}$; $\lambda_{13} = 3,971 \cdot 10^{-3}$; $\mu_{32} = 6,289 \cdot 10^{-3}$; $\lambda_{34} = 0,794 \cdot 10^{-3}$; $\lambda_{14} = 13,237 \cdot 10^{-3}$;

$\mu_{41} = 41,360 \cdot 10^{-3}$, где $\lambda_{12} = \frac{1}{T_{12}}$ – интенсивность перехода на переналадку; $\mu_{21} = \frac{1}{T_{21}}$ –

интенсивность возврата после переналадки; $\lambda_{13} = \frac{1}{T_{13}}$ – интенсивность перехода в

параметрический отказ; $\mu_{32} = \frac{1}{T_{32}}$ – интенсивность восстановления после параметрического

отказа; $\lambda_{34} = \frac{1}{T_{34}}$ – интенсивность перехода из параметрического отказа в отказ

функционирования; $\lambda_{14} = \frac{1}{T_{14}}$ – интенсивность перехода в отказ функционирования; $\mu_{41} = \frac{1}{T_{41}}$ – интенсивность восстановления после отказа функционирования, $\overline{T_{ij}}$ – среднее время соответствующих переходов состояний.

На основе принятых значений [2] получим расчетные значения системы уравнений (1): $P_1 = 0,703$, $P_2 = 0,002$, $P_3 = 0,003$, $P_4 = 0,290$.

Получив значения финальных вероятностей, необходимо рассчитать коэффициент простоя системы по причинам наступления отказов и необходимости переналадок и восстановлений:

$$K_n = P_2 + P_3 + P_4 = 0,295. \quad (2)$$

Для повышения точности результатов рассмотрим данную систему в полумарковском виде [3,4]. Система включает в себя следующие состояния: S_1 – безотказная работа; S_2 – переналадка; S_3 – параметрический отказ (до переналадки x , до отказа y); S_4 – отказ функционирования; α_1 – среднее время наработки на отказ; β_1 – среднее время восстановления после отказа функционирования (G1); α_3 – среднее время до контроля момента параметрического отказа; α_4 – среднее время до переналадки; β_4 – среднее время переналадки.

Для описания функционирования системы используем полумарковские состояния:

$$E = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}, \text{ где } E_+ = \{S_1\}; E_- = \{S_2, S_3, S_4\}.$$

Время пребывания в состояниях будет иметь вид:

$$\theta_1 = \alpha_1 \wedge \alpha_3 \wedge \alpha_4; \theta_3 = x \wedge y; \theta_4 = \beta_1.$$

Функции распределения имеют вид:

$$\overline{R}_x(t) = \frac{\int_0^\infty [R_4(t+y) - R_4(t)]r_3(t)dy}{\int_0^\infty [1 - R_4(t)]r_3(t)dt}; \quad \overline{R}_y(t) = \frac{\int_0^\infty [R_1(t+y) - R_1(t)]r_3(t)dy}{\int_0^\infty [1 - R_1(t)]r_3(t)dt}.$$

Определим вероятности переходов системы:

$$P_1^2 = \int_0^\infty r_4(t)\overline{R}_1(t)\overline{R}_3(t)dt; \quad P_1^3 = \int_0^\infty r_3(t)\overline{R}_1(t)\overline{R}_4(t)dt;$$

$$P_1^4 = \int_0^\infty r_1(t)\overline{R}_3(t)\overline{R}_4(t)dt; \quad P_3^2 = \int_0^\infty r_x(t)\overline{R}_y(t)dt;$$

$$P_3^4 = \int_0^{\infty} r_y(t) \overline{R_x}(t) dt.$$

Найдем функции распределения времени пребывания системы в состояниях:

$$F_1(t) = 1 - \overline{R_1}(t) \cdot \overline{R_3}(t) \cdot \overline{R_4}(t); F_3(t) = 1 - \overline{R_x}(t) \cdot \overline{R_y}(t); F_4(t) = G_1(t).$$

Для получения искомым характеристик находится стационарное распределение вложенной цепи Маркова:

$$\rho_1 = \frac{1}{P_1^3 + 2}; \rho_2 = \frac{P_1^3 \cdot P_3^2 + P_1^2}{P_1^3 + 2}; \rho_3 = \frac{P_1^3}{P_1^3 + 2}; \rho_4 = -\frac{P_1^3 \cdot P_3^2 + P_1^2 - 1}{P_1^3 + 2}.$$

Для нахождения искомой функции распределения воспользуемся методом траекторий [5]. Используя метод траекторий, определим все траектории в подмножестве E_- , их вероятности и времена пребывания системы на этих траекториях.

Траектории будут иметь вид:

$$T_1 = \{S_3 S_2\}; T_2 = \{S_3 S_4\}; T_3 = \{S_2\}.$$

Вероятности траекторий:

$$P_T^1 = P_3^2; P_T^2 = P_3^4.$$

Определим времена пребывания системы в состояниях с учетом повторных попаданий, для чего сначала определим вероятности включения состояний в траектории:

$$P_S^1 = P_T^1; P_S^2 = P_T^1 + P_T^2; P_S^3 = P_T^2.$$

Далее, найдем коэффициенты увеличения времени пребывания системы в состояниях за счет повторных попаданий:

$$c_3 = \frac{\rho_3}{P_S^2 \cdot \rho_1}; c_4 = \frac{\rho_4}{P_S^3 \cdot \rho_1}.$$

Определим плотности распределения времени пребывания системы в состояниях за счет повторных попаданий. В области изображений по Лапласу эти плотности имеют вид:

$$f_3^\theta(s) = \frac{f_3(t)}{c_1 - (c_1 - 1) \cdot f_3(t)}; f_4^\theta(s) = \frac{f_4(t)}{c_2 - (c_2 - 1) \cdot f_4(t)},$$

где $f_n^\theta(s)$ – изображение плотности распределения $f_n(t)$ времени пребывания системы в состоянии n .

Плотности распределения времени пребывания системы на траекториях:

$$f_T^1(s) = f_3^\theta(s); f_T^2(s) = f_3^\theta(s) * f_4^\theta(s),$$

где $*$ – знак операции свертки.

Для нахождения функции распределения $f(s)$ с использованием преобразований Лапласа необходимо осуществить переход в комплексную область:

$$f_{-}(s) = f_T^1(s) \cdot P_T^1 + f_T^2(s) \cdot P_T^2.$$

Искомую функцию распределения получаем, произведя переход из области изображений в область оригиналов.

Исходными данными для моделирования служат функции распределения $R_1(t)$, $R_2(t)$, $R_3(t)$, $R_4(t)$, $G_1(t)$, которым соответствует обобщенный закон Эрланга второго порядка с параметрами $\lambda_1 = 2$; $\lambda_2 = 0,05$; $\lambda_3 = 0,7$; $\lambda_4 = 0,4$; $\lambda_5 = 0,5$; $\lambda_6 = 0,35$; $\lambda_7 = 0,7$; $\lambda_8 = 0,5$; $\lambda_9 = 0,75$; $\lambda_{10} = 0,1$ соответственно с учетом зависимости:

$$f_n(t) = \frac{\lambda_{n-1} \cdot \lambda_n \cdot (e^{-\lambda_{n-1} \cdot t} \cdot e^{-\lambda_n \cdot t})}{\lambda_n - \lambda_{n-1}}.$$

Математическое ожидание полученной нами функции распределения составляет 0,990 ч, тогда как определяемое с помощью выражения – 0,990 ч. Как видно из полученных данных, математические ожидания совпадают.

Коэффициент простоя для полумарковской системы будет иметь вид:

$$K_n = \frac{m_{-}}{m_{-} + m_{+}} = 0,299. \quad (3)$$

Как видно из выражений (2) и (3), коэффициент простоя в полумарковской системе имеет большее значение по величине, чем в марковской, где $K_n = 0,295$. По этой причине целесообразно использовать полумарковскую систему для дальнейших расчетов, позволяющую получить более точную информацию о реальных потерях времени в процессе резьбообработки из-за наступления отказов, переналадок и восстановлений. Применение разработанной полумарковской модели будет служить для оптимизации процесса формообразования внутренней резьбы на основе совершенствования цикла обработки, конструкций инструмента и оборудования, так как позволяет более точно оценить влияние нахождения инструмента в каждом из возможных состояний его системы на надежность и производительность.

Список литературы

1. Братан С.М. Повышение точности формообразования внутренних резьб МЗ...М6 в деталях из алюминиевых сплавов /С.М. Братан, Ф.Н. Канареев, П.А. Новиков, А.О. Харченко. – Москва: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2017. – 163 с.
2. Долгин В.П. Надежность технических систем / В.П. Долгин, А.О. Харченко. – Москва: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2015. – 167 с.
3. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных линий./ В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – 240 с.
4. Королюк В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин. – Киев: Наукова думка, 1982. – 236 с.
5. Копп В.Я., Заморёнов М.В., Обжерин Ю.Е., Ларин М.Ю. Использование метода траекторий для построения полумарковской модели структуры "Технологическая ячейка – Накопитель" // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление.– 2016, № 3 (247). – С. 23-34.

УДК 621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИВОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА СБОРКИ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

*А.Н. Круговой¹,
Д.В. Подлесный¹*

¹*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация*

АННОТАЦИЯ

В блоках управления вакуумными выключателя используются печатные платы, на которые устанавливают крупногабаритные конденсаторы большой емкости, ток разряда которых используется для срабатывания электроиндукционных приводов.

Автоматизация процесса сборки печатных плат модулей управления позволяет повысить производительность сборочного процесса и качество сборки.

Повысить производительность сборочных операций можно не только за счет уменьшения времени установки компонентов, но и за счет увеличения скорости перемещения приводов позиционирования захватного устройства. При увеличении скорости возникает необходимость исследования динамики приводов позиционирования с целью нахождения наилучших способов управления и определения параметров, при которых достигается необходимое быстродействие и заданная точность позиционирования.

В рамках данной работы рассматривается автоматизированный комплекс для установки РТН-компонентов, а именно крупногабаритных конденсаторов, на печатную плату.

Ключевые слова: конденсаторы, автоматизация, моделирование

RESEARCH OF DRIVE PARAMETERS OF AN AUTOMATED PRINTED BOARD ASSEMBLY COMPLEX

*A.N. Krugovoy¹,
D.V. Podlesniy¹*

¹*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

ABSTRACT

Vacuum circuit breaker control units use printed circuit boards on which large-sized capacitors of high capacity are installed, the discharge current of which is used to operate the electric induction actuators.

Automation of the assembly process of printed circuit boards of control modules allows to increase the productivity of the assembly process and the quality of assembly.

It is possible to increase the productivity of assembly operations not only by reducing the time of installation of components, but also by increasing the speed of movement of the positioning drives of the gripper. When the speed is increased, there is a need to study the dynamics of positioning drives in order to find the best control methods and determine the parameters that achieve the required speed and given accuracy of positioning.

In the framework of this work, an automated complex for the installation of PTH-components, namely large-size capacitors, on a printed circuit board is considered.

Keywords: capacitors, automation, modeling

Введение. Технологический процесс установки электролитических конденсаторов на печатные платы может быть разделен на следующие этапы:

- Подача печатной платы, осуществляется при помощи участка конвейера производителя PROMASS, специально созданного для транспортирования печатных плат;
- Базирование платы осуществляется при помощи конвейера;
- Установка конденсаторов поштучно – перенос исполнительным механизмом с базирующей позиции на плату;
- Удаление печатных плат из зоны сборки.

После удаления платы из зоны сборки необходимо предусмотреть устройство, подгибающее выводы конденсаторов.

Структура разработанного комплекса установки электролитических конденсаторов на печатные платы представлена на рисунке 1. Конденсаторы подаются из загрузочного устройства 1 на позицию захвата 2, где захватываются вакуумным захватным устройством 3, установленном на двухкоординатном приводе 4 и поочередно в количестве семи штук переносятся на печатную плату, установленную на конвейере 5.

Кинематическая схема двухкоординатного привода портального типа приведена на рисунке 2.

Для выбора типоразмера привода координаты Y [3] рассчитаны следующие параметры: Необходимое усилие в направлении продольной оси

$$F_x = F_u + F_{mp} = m (f_{mp}g + a) = 0,84 \cdot (0,02 \cdot 9,8 + 2) = 1,84(H)$$

Момент вокруг продольной оси

$$M_x = Fz \cdot h = 8,23 \cdot 0,093 = 0,76(H) .$$

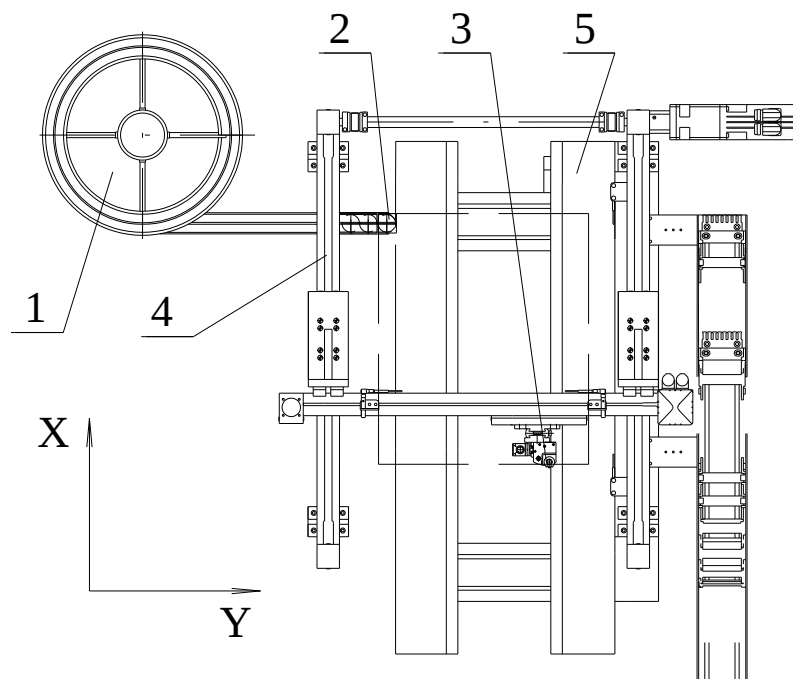


Рисунок 1. Общий вид автоматизированного комплекса

Для повышения быстродействия сборки необходимо уменьшать время транспортирования конденсаторов, для этого исследуется динамика приводов двухкоординатного привода, например привода поперечных перемещений.

Динамика вала двигателя переменного тока привода координаты Y описывается дифференциальным уравнением [1 - 3]

$$J \frac{d\omega}{dt} = \frac{2M_{кр}}{\frac{S_{кр}}{S} + \frac{S}{S_{кр}}} - M_c,$$

где J и M_c – приведенные значения момента инерции и момента сопротивления; $M_{кр}$ – критический (максимальный) момент двигателя; S – скольжение; $S_{кр}$ – критическое скольжение.

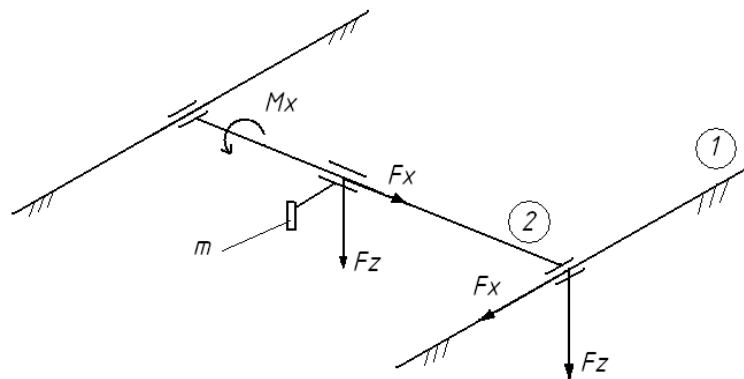


Рисунок 2. Кинематическая схема двухкоординатного привода портального типа, где 1 – привод координаты X, 2 – привод координаты Y.

Позиционирование привода координаты Y осуществляется за счет дискретного регулирования частоты. При этом способе управления основная часть пути проходится на высокой скорости, а в конце перемещения производится переход на низкую (ползучую) скорость и на этой скорости осуществляется позиционирование[4, 5].

Результаты моделирование представлены на рисунках 3, 4. При этом, значения частот, времени перехода на ползучую скорость подобраны таким образом, чтобы обеспечить максимальное быстродействие при ограничении на погрешность позиционирования в пределах 0,1 мм.

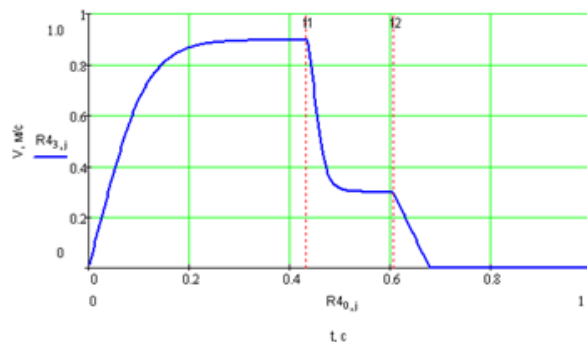


Рисунок 3. График зависимости скорости от времени

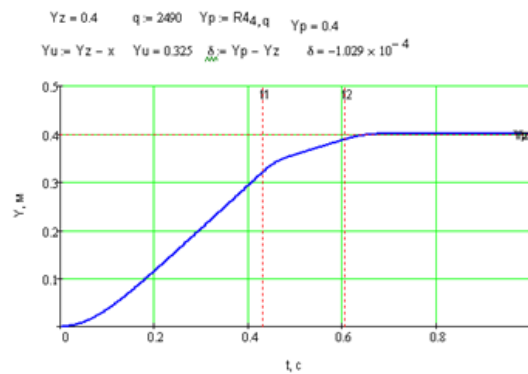


Рисунок 4. График зависимости перемещения от времени

При данном способе позиционирования можно добиться высокой точности позиционирования при постоянном приведенном моменте инерции.

Исследовано влияние изменения приведенного момента инерции на погрешность позиционирования. Результаты приведены на рисунке 5.

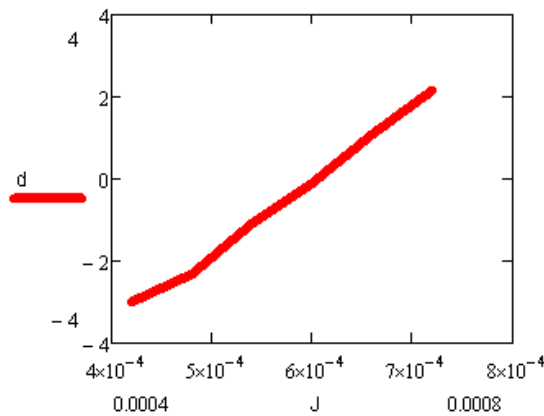


Рисунок 5. График погрешности позиционирования от приведенного момента инерции.

Для проверки основных теоретических положений использовался экспериментальный стенд, общий вид которого представлен на рисунке 6.

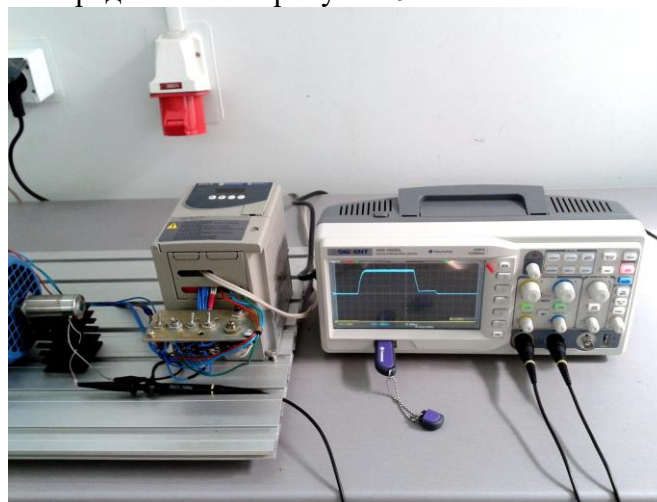


Рисунок 6. Общий вид экспериментального стенда.

Таким образом, при заданном способе управления перемещение на 400 мм. может быть осуществлено за 0,68 с. при допустимой погрешности позиционирования 0,1 мм.

Полученные параметры перемещения вполне приемлемы для обеспечения технологического процесса установки конденсаторов на печатные платы.

Экспериментальные данные подтвердили основные теоретические положения.

В дальнейшем, предполагается провести оптимизацию параметров позиционирования с дискретным регулированием частоты для достижения максимального быстродействия при ограничениях на погрешность позиционирования и максимальное ускорение.

Список литературы

1. Пашков Е.В. Автоматизация в промышленности: Практикум. В 4 ч. Ч. III. Автоматизированный электропривод и моделирование механотронных модулей движения/ Е.В. Пашков, А.Н. Круговой, В.А. Крамарь, Л.Л. Беляева, В.В. Альчаков; под ред. Е.В. Пашкова. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 225 с., ил.
2. Гидропневмопривод : Учебное пособие (лабораторный практикум) к лабораторным работам по дисциплинам «Гидрогазодинамика и гидро- пневмопривод» для студентов очной формы обучения. – Севастополь : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2020. – 120 с. – ISBN 978-5-6045525-7-5. – EDN TNPBLJ.
3. Епифанов А. П., Малайчук Л. М., Гущинский А. Г. Электропривод: Издательство "Лань", Тип учебник, Страниц 400 стр. Год 2022
4. Вожжов, А. А. Моделирование режимов следования по маршруту наземного мобильного робота / А. А. Вожжов, В. В. Никишин // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. – 2024. – № 2(26). – С. 28-36. – EDN ANCIMI.
5. <https://tvita.ru/wp-content/uploads/2019/09/festo-3.pdf>

УДК 621.7

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

А.А. Вожжов¹,
В.Д. Садыков¹,
С.С. Иванов¹

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье предложен оригинальный вариант конструкции многофункциональной мобильной роботизированной платформы для исследования местности, которая может быть оснащена различным оборудованием. Приводится описание, схема для которой проведен расчет прочности. Приведены результаты экспериментальных исследований ее работоспособности. Результатом

разработки стало создание облегченного каркаса с повышением характеристик подвижности, и мобильности.

Целью данной работы является разработка, проектирование, и создание облегченного каркаса с повышением характеристик подвижности, и мобильности для разработки многофункциональной мобильной роботизированной платформы.

Ключевые слова: *роботизированная платформа, робототехника, разработка каркаса, прочностной расчет.*

DESIGNING A MULTIFUNCTIONAL MOBILE ROBOTIC PLATFORM

A.A. Vozhzhov¹,

V.D. Sadykov¹,

S.S. Ivanov¹

¹ *Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

ABSTRACT

The article proposes an original design variant of a multifunctional mobile robotic platform for terrain exploration, which can be equipped with various equipment. A description is given, the scheme for which the strength calculation is carried out. The results of experimental studies of its operability are presented. The result of the development was the creation of a lightweight frame with increased mobility and mobility characteristics. The purpose of this work is to develop, design, and create a lightweight frame with improved mobility and mobility characteristics for the development of a multifunctional mobile robotic platform.

Keywords: *robotic platform, robotics, frame development, strength calculation.*

Введение. Существует множество наземной техники, но многие из них узкоспециализированы, что не дает такой спектр возможностей для улучшения качества безопасности и оперативности, тем более некоторая техника попросту не способна передвигаться по бездорожью, что еще больше добавляет необходимости сочетания мобильности и универсальности.

В сельском хозяйстве, строительстве, коммунальном хозяйстве стоит вопрос повышения производительности труда, которое в сегодняшних условиях требует применения роботизированных устройств. При этом рынок роботов и роботизированных комплексов для подобных целей ежегодно будет только расти. Существуют задачи, где есть необходимость проведения исследований в тяжелых и опасных для людей условиях. Актуальным вопросом является разработка автономной роботизированной платформы с высокой проходимостью и удаленным управлением. Применение данных устройств при ликвидации последствий катастроф позволит спасти жизнь и здоровье многим людям. Однако, существующие на сегодняшний конструкции мобильных робототехнических устройств не находят широкого применения из-за высокой стоимости и низких технических характеристик.

Наибольшее распространение в настоящее время нашли колесные мобильные наземные роботы. В рассматриваемом случае вариант с поворотом за счет изменения скорости и/или направления вращения колес по разным бортам.

На рисунке 1 приведена 3D-модель объекта управления, выполненная в среде Inventor, а на рисунке 2 макет роботизированной платформы.

Платформа состоит из трёх основных рам – средней подвижной и двух боковых. Из-за вращающейся оси, сдвинутой к передним колёсам, и упорам, сдвинутым к задним колёсам, средняя рама способна сохранять тот же угол наклона что и боковая при наезде колесом на препятствие – это значительно повышает проходимость устройства. Для уменьшения сил сопротивления при повороте, задние колёса закреплены на подвижные блоки, которые подвижны в пределах 50 градусов.

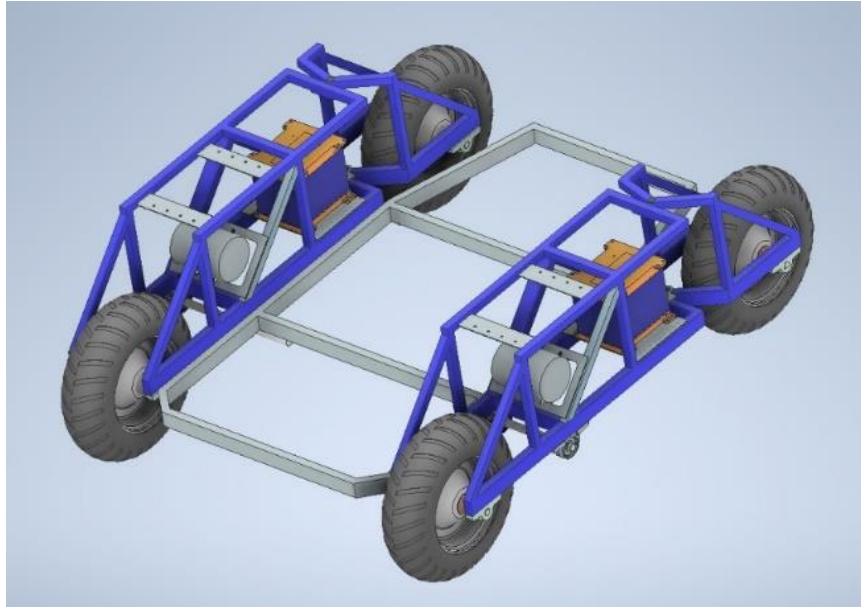


Рисунок 1. 3D модель роботизированной платформы

Поворот платформы осуществляется по принципу «бортового поворота» за счёт разности скоростей передних колёс. В случае правого поворота – левое переднее колесо обгоняет правое переднее. В случае левого поворота – наоборот.



Рисунок 2. Макет роботизированной платформы

Прочностной расчет произведен в среде CAE Inventor[1]: на рисунках 3-5 продемонстрированы деформация(смещение) и напряжение при статической нагрузке 250 кг (1-ое основное напряжение на рисунке 4, 3-е основное напряжение на рисунке 5).

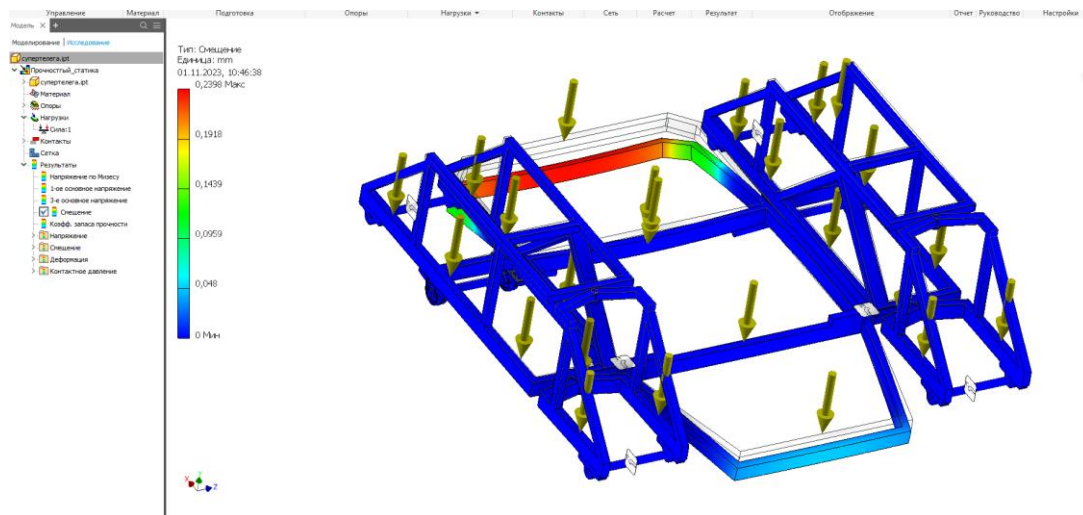


Рисунок 3. Изображение смещения каркаса

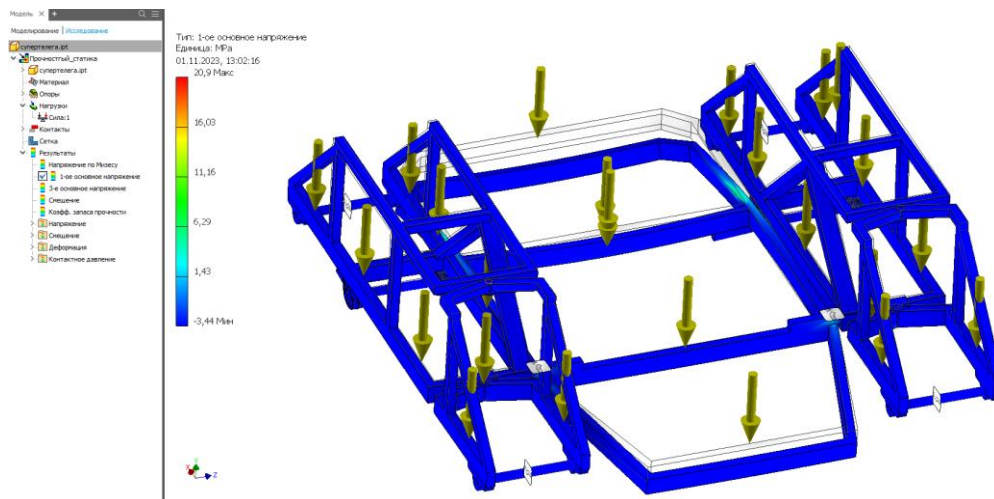


Рисунок 4. Изображение первого основного напряжения

При проектировании мобильного робота важное значение имеет правильный выбор формы и размеров его основных деталей[2]. К таким деталям относятся в первую очередь рама и детали подвески.

На основе разработанных предложений по конструкции мобильного робота были рассмотрены различные варианты его компоновки и выбрана 4 колесная конструкция.

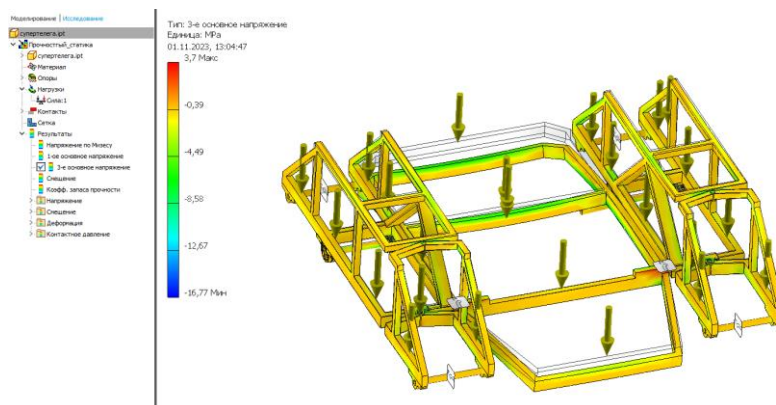


Рисунок 5. Изображение третьего основного напряжения

Началом разработки конструкции было проектирование 3D-модели в среде Inventor. Толщина профиля стальной трубы (Сталь 3) была принята 2 мм, тогда как размер трубы был принят двух форматов - 40x20 и 20x20. Исходя из данных параметров был проведен прочностной расчет приведенной выше конструкции.

Смещение представляет собой параметр, который показывает смещение точек, структуры или компонентов при наложении на них нагрузок.

Первое основное напряжение указывает на самые высокие напряжения в точке, в которой они рассчитываются. Третье основное напряжение указывает на самые низкие напряжения в точке.

Для четырехколесной компоновки мобильного робота была создана компьютерная 3D модель (Рисунок 1).

Ввиду сложной формы деталей мобильного робота их расчет на прочность был произведен с помощью численного метода конечных элементов (МКЭ) [5].

Методика расчета на прочность деталей мобильного робота с помощью МКЭ включала в себя следующие этапы:

1. Задание геометрии моделируемых тел
2. Разбиение деформируемых тел на конечные элементы;
3. Задание механических свойств материала деформируемых тел;
4. Определение начальных и граничных условий;
5. Расчет эквивалентных напряжений и деформаций конструкции;
6. Анализ результатов моделирования.

В результате моделирования получены поля напряжений и деформаций в деталях мобильного робота. Пример распределения полей напряжений по Мизесу в раме робота приведен на рисунке 3. Распределение полей эквивалентных деформаций приведено на рисунке 4.

Проведенное моделирование позволило исследовать напряжённо - деформированное состояние наиболее ответственных тяжело нагруженных деталей.

Полученные при моделировании поля напряжений и деформаций позволяют назначать требуемые параметры качества ответственных деталей спроектированного мобильного робота и обоснованно разрабатывать технологию их изготовления

По результатам расчета получили следующие результаты:

- Максимальное значение по смещению достигло 0,238 мм в передней подвижной части каркаса.
- Максимальное значение первого основного напряжения 20,9 МПа.
- Максимальное значение третьего основного напряжения 3,7 МПа.

Вывод: спроектированный каркас, изготовлен и практически способен выдержать заданные нагрузки. Особенностью разрабатываемого устройства является модульность, позволяющая скорректировать её исходя из реальных условий эксплуатации. Разработанная конструкция удовлетворяет техническому заданию и отличается сочетанием характеристик легкости и прочности.

Список литературы

1. Абдулмажидов Х.А., Матвеев А.С. Комплексное проектирование и прочностные расчеты конструкций машин природообустройства в системе Inventor Pro // МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, 2016
2. Мурашковский, И. А. Исследование влияния настройки элементов пневмоподвески на колебания составных элементов транспортного средства / И. А. Мурашковский, А. А. Вожжов // Автоматизация и измерения в машино- приборостроении. – 2023. – № 1(21). – С. 55-60. – EDN ODYHRU.
3. Иванов С.С., Садыков В.Д. Прочностной расчет наземной многофункциональной платформы // Современные технологии: проблемы и перспективы : сборник статей Всероссийских научно-практических конференций: «Современные технологии: проблемы и перспективы», 15 - 18 апреля 2024 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Севастопольский государственный университет, Политехнический институт, кафедра цифрового проектирования ; главный ред. О. В. Мухина. – Севастополь: СевГУ, 2024
4. Евграфов В.В. Динамика и управление движением колесных роботов / Дисс. ... К.Т.Н., Москва: МГУ им. Ломоносова, 2008
5. Кампион Г., Бастен Ж., д'Андреа-Новель Б. Структурные свойства и классификация кинематических и динамических моделей колесных мобильных роботов // Нелинейная динамика, 2011, Т. 7, №4. - С. 733-769.

УДК 621.715.4

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ НА ЗУБОДОЛБЕЖНОЙ ОПЕРАЦИИ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Э.Ш. Джемилев¹,

О.А. Джабаров¹,

С.Б. Бегун¹,

(¹ Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова, Симферополь, Россия)

Аннотация. В статье приведены результаты исследования конструкции системы «приспособление-заготовка» в пакете математического анализа Ansys Workbench. Статический анализ конструкции выполнен с использованием модуля Static Structural. В основе работы указанных модулей и пакета Ansys в целом находится известный метод конечных элементов.

Ключевые слова: зубодолбление, статический анализ, метод конечных элементов, внутреннее напряжение.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INFLUENCE OF CUTTING MODES ON SURFACE ROUGHNESS WHEN DRILLING HOLES IN CARBON FIBER/TITANIUM ALLOY STACKS

E. Sh. Dzhemilov¹,

O. A. Dzhabarov¹,

S. B. Begun¹,

(¹Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov, Simferopol, Russia)

Annotation. The article presents the results of the study of the design of the "fixture-blank" system in the Ansys Workbench mathematical analysis package. The static analysis of the structure was performed using the Static Structural module. The operation of these modules and the Ansys package as a whole is based on the well-known finite element method.

Keywords: Gear shaping, static analysis, finite element method, internal stress.

Введение. Главной задачей современного машиностроительного производства является выпуск высококачественной конкурентной продукции. Основными составляющими качества изделий машиностроительной отрасли является точность размеров, формы и взаимного расположения поверхностей деталей машин, их шероховатость, а также физико-механические свойства материала деталей и сборочные соединения. Все эти составляющие сегодня в подавляющем большинстве обеспечиваются обработкой заготовок разными методами резания, а также разнообразными методами сборки [1].

Создание конкурентноспособной продукции сейчас нереально без учета таких характеристик, как производительность и экономичность производства. Поэтому важное значение в технологической подготовке производства имеет анализ конструкции детали на технологичность с точки зрения сложности, уникальности конфигурации детали, дороговизны и распространенности материала, возможности использования при обработке современных средств механизации и автоматизации.

Цель статьи – повышение эффективности технологического процесса изготовления детали «Полумуфта» путем оптимизации конструкции станочного приспособления для установки заготовки на зубодолбежную операцию.

Основная часть. Проектирование станочного приспособления является сложной многокритериальной задачей, требующей от проектировщика большого опыта и навыков. В условиях многономенклатурного производства существует потребность в проектировании большого количества относительно оригинальных станочных приспособлений, максимально адаптированных к характеристикам изделий. Конструкция проектируемого станочного приспособления как части технологической обрабатывающей системы является ее узким местом. Именно поэтому решения, принятые при проектировании приспособления, должны проверяться на предмет устойчивой и надежной работы в условиях статических и динамических нагрузок.

Предложена специальная конструкция станочного приспособления для установки заготовки «полумуфты» на зубодолбежной технологической операции [2]. Отделка зубчатого венца «полумуфты» осуществляется в условиях значительной силовой нагрузки. Исследование предлагаемого станочного приспособления в системе с обрабатываемой заготовкой позволит выявить ошибки в отдельных конструктивных элементах его конструкции.

Для исследования конструкции системы «приспособление-заготовка» воспользуемся пакетом математического анализа Ansys Workbench [3, 4, 5]. Статический анализ конструкции сделаем с использованием модуля Static Structural. В основе работы указанных модулей и пакета Ansys в целом находится известный метод конечных элементов.

Первый шаг алгоритма исследования указанной конструкции состоит в разработке твердотельной модели системы «приспособление-заготовка». В состав этой системы в нашем случае должны войти такие элементы, как заготовка, крышка, цанга и конус, которые непосредственно участвуют в обеспечении замыкания силовых потоков, причиной возникновения которых является действие сил резания и сил закрепления, реакций опор и т.д. Кроме того, такие элементы как цанга и крышка непосредственно участвуют в формировании технологических баз и таким образом оказывают прямое влияние на обеспечение точности обрабатываемых поверхностей.

Твердотельная модель исследуемой системы была разработана в пакете графического дизайна Компас-3D (рис. 1).

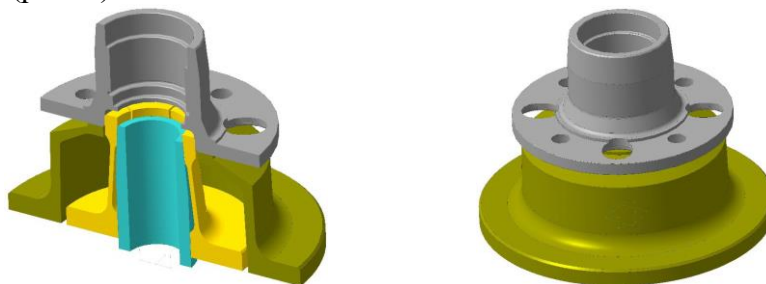


Рисунок 1. – Твердотельная модель системы «приспособление-заготовка»

Второй шаг – импорт твердотельной модели в пакет Ansys с целью передачи информации о геометрической модели системы (рис. 2).

Третий шаг – описание предельных ограничений: характеристики материалов элементов системы, характеристики контакта сопряженных поверхностей элементов системы, характеристики сил и (или) моментов резания, сил закрепления и т.п.

Физико-механические свойства материалов отдельных элементов исследуемой системы берем по умолчанию, как свойства среднеуглеродистой конструкционной стали: модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа, предел текучести при сжатии (растяжении) – 250 МПа, предел текучести при растяжении – 460 МПа.

Характеристики контакта сопряженных поверхностей пар «заготовка-цанга», «заготовка-крышка», «конус-цанга» задаем как трение скольжения с коэффициентами трения 0,2, 0,2 и 0,1 соответственно (рис. 3).

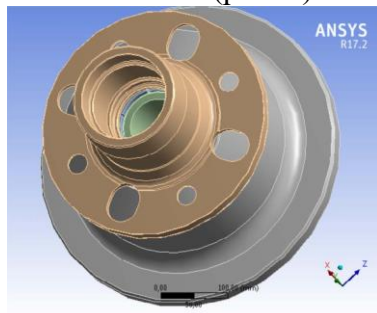


Рисунок 2. – Импортированная геометрическая модель исследуемой системы

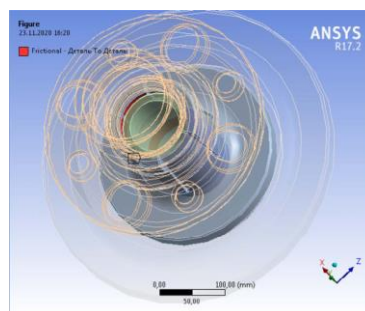


Рисунок 3. – Характеристики контакта сопряженных поверхностей «заготовка-цанга»

В процессе обработки зубодолблением на заготовку действует круговая составляющая силы резания $P_{ок} = 3294$ Н при плече $r = 65,625$ мм, создавая момент вращения $M = 216000$ Н·мм. Покажем действие этого момента как одно из предельных ограничений (рис. 4).

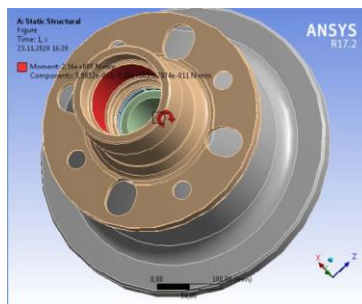


Рисунок 4. – Действие момента вращения заготовки

Для обеспечения закрепления заготовки с использованием цангового зажимного механизма осуществляется поступательное движение конуса, раздавливающего лепестки цанги. При этом конус воспринимает усилие со стороны привода закрепления (пневмокамеры) в размере $Q = 14000$ кН (рис. 5).

Четвертый шаг – построение сетки конечных элементов: осуществляется в автоматическом режиме (количество элементов – 37037, минимальная длина грани элемента – 3,53 мм) (рис. 6).

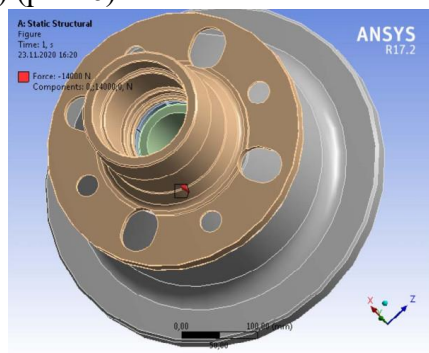


Рисунок 5. – Действие усилия по поводу зажима заготовки

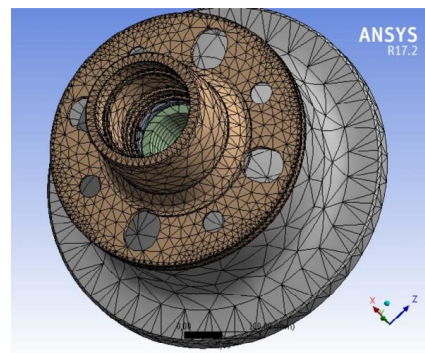


Рисунок 6. – Построение сетки конечных элементов

В результате проведения статического анализа исследуемой системы «приспособление-заготовка» были получены эпюры деформаций (Total Deformation) и напряжений (Equivalent Stress) (рис. 7 и 8).

Так, из рис. 7 можно увидеть, что самый высокий уровень деформаций (0,19 мм) характерен для конуса, совершающего возвратно-поступательные движения при закреплении или раскреплении заготовки. Подробный анализ показал, что деформацию конуса следует рассматривать как кинематическую, характерную для конуса в целом, а не упругую, характерную для отдельных его частей. Поэтому такой уровень деформаций (0,19 мм) приемлем с учетом сказанного. Деформации периферийной части заготовки достигают уровня 0,1 мм, части центрального отверстия – 0,02 мм, что приемлемо с точки зрения обеспечения точности обрабатываемых поверхностей.

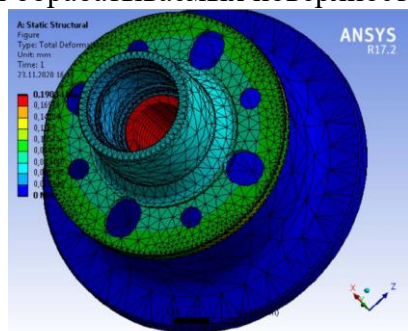


Рисунок 7. – Эпюра деформаций исследуемой системы

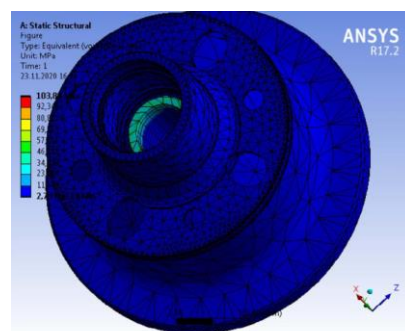


Рисунок 8. – Эпюра напряжений исследуемой системы

Эпюра напряжений (рис. 8) показал максимальный уровень в 103,8 МПа, что является достаточно большим значением. Подробный анализ отдельных элементов исследуемой системы позволил установить, что наибольший уровень напряжений характерен для цанги (рис. 9).

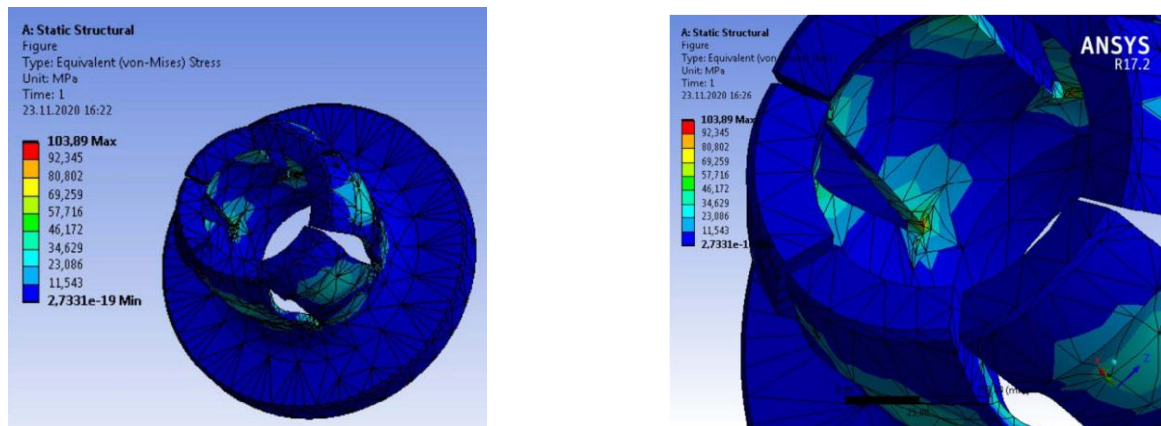


Рисунок. 9 – Эпюра напряжений цанги

Напряжение в 103,8 МПа наблюдается в зоне вокруг отверстия, замыкающего разрез между лепестками цанги. Функциональным назначением этого отверстия является необходимость снижения концентрации внутренних напряжений в зоне соединения лепестков цанги. Уровень напряжений в 103,8 МПа слишком велик по сравнению с пределом прочности материала цанги (460 МПа). Результаты исследования показали, что увеличение диаметра отверстия с 5 мм до 7 мм позволяет уменьшить уровень напряжений до 48 МПа.

Заключение. В результате проведения исследования конструкции системы «приспособление-заготовка» методом статического анализа установлено, что уровень внутренних напряжений в материалах элементов исследуемой системы в условиях статической нагрузки в целом удовлетворительный. Предлагаемая конструкция станочного приспособления характеризуется достаточной устойчивостью и надежностью по работе в условиях статических нагрузок.

Список литературы

1. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.1 / В. И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 2001. – 920 с.
2. Апанасенко, А. И. Монтаж, испытание и эксплуатация газоперекачивающих агрегатов в блочно-контейнерном исполнении / А. И. Апанасенко, Н. Г. Крившич, Н. Д. Федоренко. – Л. : Недра, 1991. – 361 с.
3. Денисов, М. А. Компьютерное проектирование. ANSYS : [учебное пособие] / М. А. Денисов. – Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2014. - 77 с.
4. Алексеев, В. Ф. Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов. Лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 : Тепловые режимы работы и защиты конструкция РЭС от механических воздействий : пособие / В. Ф. Алексеев, И. Н. Богатко, Г. А. Пискун. – Минск : БГУИР, 2017. – 124 с. : ил.
5. Вожжов А.А. Процедуры формирования параметров качества при механической обработке деталей Вожжов А.А., Ярохина Д.В. Главный механик. 2020. № 9. С. 17-23.

УДК 519.873

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЯЧЕЙКИ

И.В. Ольшанская¹

С.Н. Федоренко¹

¹ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

Анализ влияния различных видов простоев на функционирование производственной ячейки позволяет решить одну из практических задач – обеспечение производственной ячейки необходимым количеством запасных частей, которое позволит рационально сократить время на восстановление работоспособности ячейки после простоя. Необходимо определить потребность в запасных частях так, чтобы их количество было достаточным во избежание создания дефицита в самые критические периоды времени работы.

Ключевые слова: производственная ячейка, производительность, виды простоев, оптимальное количество запасных частей.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL AMOUNT OF SPARE PARTS FOR A PRODUCTION CELL

I.V. Olshanskaya¹

S.N. Fedorenko¹

¹Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

Analysis of the impact of various types of downtime on the functioning of the production cell allows to solve one of the practical tasks - providing the production cell with the necessary number of spare parts, which will allow rationally reduce the time to restore the cell's operability after downtime. It is necessary to determine the need for spare parts so that their quantity is sufficient to avoid creating shortages during the most critical periods of operation.

Key words: production cell, productivity, types of downtimes, optimal amount of spare parts.

В процессе эксплуатации дискретных автоматизированных производственных систем (ДАПС) нередко случаи, когда ремонт отказавших элементов, узлов, блоков нерационален и необходима замена запасными частями [1-6]. Тогда на восстановление работоспособности системы уходит меньше времени, чем при ремонте. Но, если имеется слишком мало запасных частей, то это может отрицательно повлиять на выполнение поставленной задачи. С другой стороны, если закупить слишком большое количество запасных частей, то это приводит к излишним затратам, неэкономичному использованию складских помещений. Приобретение оптимального количества запасных частей должно укладываться в пределы имеющихся денежных средств, т.е. производительность системы должна достигаться наиболее экономичным способом.

Анализ влияния различных видов простоев на функционирование ДАПС позволяет оценить производительность и надежность систем, а следовательно, решить одну из практических задач: обеспечение необходимым количеством запасных частей, которое позволит рационально сократить время на восстановление системы после простоя по техническим причинам за счет замены отказавших деталей, а не за счет их ремонта. Самый простой способ определения потребности в запасных частях (среднее количество) состоит в делении предполагаемого срока службы элемента, узла, блока на

величину наработки на отказ. Для более точного определения количества запасных частей необходимо пользоваться уточненными методами расчета.

Пусть на приобретение запасных частей имеется объем денежных средств, равный C у.е. Одна запасная часть i -го вида, $i = \overline{1, n}$ стоит c_i у.е. При эксплуатации ДАПС часто возникает необходимость решения следующей задачи: необходимо вложить имеющиеся средства на приобретение запасных частей так, чтобы производительность ДАПС была максимальной.

Рассмотрим функционирование производственной ячейки (ПЯ) с не обесценивающими простоями [7,8]. Решим задачу определения оптимального количества запасных частей. Время обслуживания единицы продукции ПЯ и время безотказной работы – случайные величины (СВ) α_1 и α_2 соответственно. ПЯ может простаивать в силу простоя i -го вида, $i = \overline{1, n}$. Если ПЯ простаивает вследствие простоя по техническим причинам i -го вида, то время восстановления ПЯ путём замены – СВ β_i^3 , путем ремонта – β_i^p . СВ $\alpha_1, \alpha_2, \beta_i^3, \beta_i^p$ предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания. При простое ПЯ обслуживание единицы продукции прерывается, после восстановления ее работоспособности обслуживание продукции продолжается с учетом времени прерванного обслуживания.

Интенсивность λ_i собственных отказов i -го вида (среднее число отказов i -го вида в единицу времени) для ПЯ можно представить в виде суммы

$$\lambda_i = \lambda_i^3 + \lambda_i^p, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где λ_i^3 – интенсивность собственных отказов i -го вида, устраняемых с помощью замены (ремонта).

За время T функционирования ПЯ происходит $\lambda_i T$ простоев по техническим причинам i -го вида. Общее число собственных отказов ПЯ составляет λT , $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$, λ – среднее число отказов ПЯ в единицу времени. Предположим, что за это время T возможно приобрести всего лишь K_i , $i = \overline{1, n}$, λ_i^3 запасных частей для устранения отказов i -го вида, тогда $\lambda_i^3 = \frac{K_i}{T}$.

Из формулы (1) выразим λ_i^p : $\lambda_i^p = \lambda_i - \frac{K_i}{T}$, $i = \overline{1, n}$.

В этом случае формула производительности для ПЯ имеет вид:

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{M\alpha_2}{M\alpha_1 \left(M\alpha_2 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i^3}{\lambda} M\beta_i^3 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i^p}{\lambda} M\beta_i^p \right)} = \\ &= \frac{M\alpha_2}{M\alpha_1 \left(M\alpha_2 + \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{T} M\beta_i^3 + \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \left(\lambda_i - \frac{K_i}{T} \right) M\beta_i^p \right)} = \\ &= \frac{M\alpha_2}{M\alpha_1 \left(M\alpha_2 + \frac{1}{T\lambda} \sum_{i=1}^n K_i (M\beta_i^3 - M\beta_i^p) + \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \lambda_i M\beta_i^p \right)}, \quad \lambda_i - \frac{K_i}{T} \geq 0. \end{aligned}$$

Сформулируем задачу следующим образом:

$(K_1, \dots, K_n) \rightarrow \max\{\Pi\}$ при условиях $\sum_{i=1}^n c_i K_i \leq C$, $0 \leq K_i \leq \lambda_i T$, K_i – целые.

Для упрощения решения изменим формулировку. Необходимо найти: $\frac{1}{\Pi} \rightarrow \min$,

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Pi} &= \frac{M\alpha_1 \left(M\alpha_2 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i^3}{\lambda} M\beta_i^3 + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i^p}{\lambda} M\beta_i^p \right)}{M\alpha_2}, \\ M\alpha_1 + \frac{M\alpha_1}{T\lambda M\alpha_2} \left(\sum_{i=1}^n K_i (M\beta_i^3 - M\beta_i^p) + \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \lambda_i M\beta_i^p \right) &\rightarrow \min. \end{aligned}$$

Так как $M\alpha_1, M\alpha_2, M\beta_i^3, M\beta_i^p, \lambda_i, \lambda, T$ заданные величины, то можно записать, что

$$\sum_{i=1}^n K_i (M\beta_i^3 - M\beta_i^p) \rightarrow \min.$$

В результате преобразований получаем итоговую постановку задачи: определим такие K_i , $i = \overline{1, n}$, что $\sum_{i=1}^n K_i (M\beta_i^3 - M\beta_i^p) \rightarrow \min$, $\sum_{i=1}^n c_i K_i \leq C$, $0 \leq K_i \leq \lambda_i T$, $i = \overline{1, n}$, K_i – целые.

Решим поставленную задачу на примере токарного автомата с исходными данными, приведенными в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные для ПЯ

$M\alpha_1 = 1,2$ мин, $M\alpha_2 = 3,16$ мин, T=30 дней, C=986 у.е.	λ_i отк./мин	$M\beta_i^3$ мин	$M\beta_i^p$ мин	c_i у. е.
Неисправность электрооборудования	0,0018	3,50	4,177	5
Неисправность механизма зажима	0,0015	2,10	3,110	8
Неисправность механизма питания	0,014	0,751	1,394	3

Тогда задача определения оптимального количества запасных частей при конкретных данных принимает следующий вид:

$$\frac{1}{10} (7K_1 + K_2 + 6K_3) \rightarrow \min, \quad 5K_1 + 8K_2 + 3K_3 \leq 98, \quad 0 \leq K_1 \leq 41, \\ 0 \leq K_2 \leq 34, \quad 0 \leq K_3 \leq 317, \text{ и } K_i \text{ – целые.}$$

Поставленная задача решена в электронных таблицах Microsoft Excel 2016 и проверена методом рекуррентных соотношений динамического программирования [9,10]:

$$F_n(y) = \max \sum_{i=1}^n c_i K_i, \quad y = \overline{0, b}, \text{ при условии } \sum_{i=1}^n a_i K_i = b, \quad K_i \geq 0 \text{ и целые.}$$

При положительных c_i, a_i, b получаем, что $F_0(y) = 0$, $F_0(y) = -\infty$ для всех $y \neq 0$.

$$F_n(y) = \begin{cases} \max[F_{n-1}(y), c_n + F_n(y - a_n)], & y \geq a_n, \\ F_{n-1}(y), & y < a_n. \end{cases}$$

Параллельно заполнению таблицы со значениями $F_n(y)$, составим вторую таблицу со значениями функции $i_n(y)$, которые определяются следующими соотношениями:

$$i_1(y) = \begin{cases} 0, & \text{если } F_1(y) = 0; \\ 1, & \text{если } F_1(y) \neq 0, \end{cases} \quad i_n(y) = \begin{cases} i_{n-1}(y), & F_{n-1}(y) = F_n(y); \\ n, & F_{n-1}(y) \neq F_n(y). \end{cases}$$

Последние дают возможность определить значения переменных K_i в оптимальном решении.

Величина $i_n(b)$ равна наибольшему индексу положительной переменной в оптимальном решении. Поэтому можно записать: $x_i = \begin{cases} 0, & i_n(b) < i \leq n; \\ 1, & i = i_n(b). \end{cases}$

Определим $i_n(b - a_{i_n(b)})$. Если $i_n(b - a_{i_n(b)}) = i_n(b)$, то $x_{i_n(b)}$ заменим на $x_{i_n(b)} + 1$, т.е.

$$\text{положим } x_i = \begin{cases} 0, & i_n(b - a_{i_n(b)}) < i \leq i_n(b); \\ 1, & i = i_n(b - a_{i_n(b)}) \end{cases}$$

и так до тех пор, пока не получим $i_n(0)$.

Решим поставленную задачу на конкретном примере ($a_i = 1$):

$$\frac{1}{10} (K_1 + 5K_2 + 3K_3) \rightarrow \max, \quad K_1 + K_2 + K_3 = 10, \quad 0 \leq K_i, \quad (i = \overline{1, 3}) \text{ и целые.}$$

Вычисления сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Решение задачи оптимизации

y	$F_0(y)$	$F_1(y)$	$i_1(y)$	$F_2(y)$	$i_2(y)$	$F_3(y)$	$i_3(y)$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	$-\infty$	1	1	5	2	3	3
2	$-\infty$	2	1	10	2	6	3
3	$-\infty$	3	1	15	2	9	3
4	$-\infty$	4	1	20	2	12	3
5	$-\infty$	5	1	25	2	15	3
6	$-\infty$	6	1	30	2	18	3
7	$-\infty$	7	1	35	2	21	3
8	$-\infty$	8	1	40	2	24	3
9	$-\infty$	9	1	45	2	27	3
10	$-\infty$	10	1	50	2	30	3

Таким образом, $F_2(10) = 50$, $i_2(10) = 2$. Следовательно, $K_2 = 1$. Затем b заменим на $b - a_2 = 10 - 1 = 9$. Так как $i_2(9) = 2$, то $K_2 = 1 + 1 = 2$ и т.д. Получаем, что оптимальным решением будет $K_1^* = 0, K_2^* = 10, K_3^* = 0$.

Рассмотрим случай, когда ($a_i \neq 1$):

$$\frac{1}{10} (K_1 + 5K_2 + 3K_3) \rightarrow \max, 2K_1 + 3K_2 + 4K_3 = 19, 0 \leq K_i, (i = \overline{1,3}) \text{ и целые.}$$

Вычисления сведены в таблицу 3.

В таблице 4 приведена сравнительная характеристика производительности рассматриваемой ПЯ при различных условиях.

В таблице 5 представлены значения оптимального количества запасных частей при различных условиях.

Таблица 3. Решение задачи оптимизации

y	$F_0(y)$	$F_1(y)$	$i_1(y)$	$F_2(y)$	$i_2(y)$	$F_3(y)$	$i_3(y)$
0	0	0	0	0	0	0	0
1	$-\infty$	$-\infty$	0	$-\infty$	0	$-\infty$	0
2	$-\infty$	1	1	1	1	1	1
3	$-\infty$	$-\infty$	0	5	2	5	2
4	$-\infty$	2	1	2	1	3	3
5	$-\infty$	$-\infty$	0	6	2	6	2
6	$-\infty$	3	1	10	2	10	2
7	$-\infty$	$-\infty$	0	7	0	8	3
8	$-\infty$	4	1	11	2	11	2
9	$-\infty$	$-\infty$	0	15	2	15	2
10	$-\infty$	5	1	12	0	13	3
11	$-\infty$	$-\infty$	0	16	2	16	2
12	$-\infty$	6	1	20	2	20	2
13	$-\infty$	$-\infty$	0	17	0	18	3
14	$-\infty$	7	1	21	2	21	2
15	$-\infty$	$-\infty$	0	25	2	25	2
16	$-\infty$	8	1	22	0	23	3
17	$-\infty$	$-\infty$	0	26	2	26	2
18	$-\infty$	9	1	30	2	30	2
19	$-\infty$	$-\infty$	0	27	2	27	2

Для конкретных данных таблицы 3 находим:

$$\begin{aligned}
F_3(19) = 27, \quad i_3(19) = 2, \quad K_2 = 1, \quad i_3(16) = 3, \quad K_3 = 1, \\
b - a_2 = 19 - 3 = 16, \quad 16 - a_3 = 16 - 4 = 12, \quad i_3(12) = 2, \quad K_2 = 1 + 1 = 2, \\
i_3(12 - 3) = i_3(9) = 2, \quad K_2 = 2 + 1 = 3, \\
i_3(9 - 3) = i_3(6) = 2, \quad K_2 = 3 + 1 = 4, \\
i_3(6 - 3) = i_3(3) = 2, \quad K_2 = 4 + 1 = 5, \\
i_3(3 - 3) = i_3(0) = 0.
\end{aligned}$$

Оптимальное итоговое решение дает следующий результат: $K_1^* = 0, K_2^* = 5, K_3^* = 1$.

Таблица 4. Результаты исследования производительности ПЯ

П при условии отсутствия замен, с учетом одного лишь ремонта (дет./мин)	П при условии только замен, и отсутствии ремонта (дет./мин)	П с учетом приобретения оптимального количества запасных частей(дет./мин) $K_1 = 7, \quad K_2 = 0, K_3 = 317$
0,524	0,608	0,587

Таблица 5. Определение оптимального количества запасных частей для ПЯ при максимальной производительности

$Ma_1 = 1,2$ мин, $Ma_2 = 3,16$ мин, T=30 дней	$M\beta_i^P$ мин	λ_i отк./мин	$M\beta_i^3$ мин	c_i у. е. C=988	$M\beta_i^3$ мин	c_i у. е. C=753
Неисправность электрооборудования	4,177	0,0018	3,802	3	3,802	6
Неисправность механизма зажима	3,110	0,0015	2,601	8	2,601	2
Неисправность механизма питания	1,394	0,014	1,156	3	1,156	5
Количество запасных частей			$K_1 = 0,$ $K_2 = 5,$ $K_3 = 316$		$K_1 = 41,$ $K_2 = 34,$ $K_3 = 87$	

Предложенный метод может быть использован для определения оптимального количества запасных частей для ДАПС более сложной структуры.

Список литературы

1. Аверченкова Е.Э. Методика формирования оптимальной совокупности запасного оборудования в организационно-технологической системе обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера/Е.Э. Аверченкова, А.А. Шабанов//Известия Юго-Западного государственного университета. 2021. Т 25. №4. С.201-219.
2. Баженов, Ю. В. Основы надежности и работоспособности технических систем : учеб. пособие / Ю. В. Баженов, М. Ю. Баженов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2017. – 267 с.
3. Херсонский Н.С. Определение необходимого количества запасных частей для поддержания работоспособности приборов/ Н.С. Херсонский, Л.Г.Большедворская// Международный информационно- аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык». №3(38). Сентябрь 2023.

4. Barabadi A., Barabady J., Markeset T., «A methodology for throughput capacity analysis of a production facility considering environment condition», Reliability Engineering and System Safety, vol. 96, no. 12, pp. 1637-1646, 2011.
5. Chelbi A., Ait-Kadi D., «Spare provisioning strategy for preventively replaced systems subjected to random failure», International Journal of Production Economics, vol. 74, no.1, pp.183-189, 2001.
6. Jardine A. K. S., Tsang A. H. C. Maintenance, replacement, and reliability: theory and applications. Boca Raton: CRC/Taylor and Francis, 2006.
7. Королук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем// В.С. Королук, А.Ф. Турбин.– К.: Наук.думка, 1982. 236с.
8. Обжерин Ю.Е. Оценка значимости влияния видов отказов на надежность технологической ячейки./ Ю.Е. Обжерин, И.В.Янчук, В.Я. Копп// Технология машиностроения: проблемы и перспективы: материалы междунар. науч.-техн. конф.– Севастополь: Изд-во СевГУ, 2000.С.145–148.
9. Жидкова Н.В. Методы оптимизации систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. В. Жидкова, О. Ю. Мельникова. – Электрон. дан. и прогр. (7 Мб). – Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. – 149 с.
10. Окулов С. М. О-52 Динамическое программирование [Электронный ресурс] / С. М. Окулов, О. А. Пестов. – 2-е изд. (эл.). – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015.

РАЗДЕЛ II ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОУСАЖИВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК УПАКОВКИ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

*Л.Е.Карташов¹,
А.В. Щербаков¹,
Б.А. Репинский¹,*

¹Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

Обзорная статья по теме: определение оптимальной температуры для термоусадки полимерных пленок в настоящее время, когда наиболее востребованы импортозамещенные аналоги упаковочных материалов способных заменить иностранные расходные материалы в условиях эксплуатации иностранных упаковочных аппаратов и линий. При этом актуальным является правильный выбор температуры, эффективное усаживание пленки, сохранение её физических и механических свойств. Фрагмент проведенных исследований представлен в работе.

Ключевые слова: плёночные полимерные материалы, пищевая промышленность, эффективное усаживание пленки.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF HEAT SHRINKAGE OF POLYMER FILMS OF FOOD PACKAGING

*L.E. Kartashov¹,
A.V. Shcherbakov¹,
B.A. Repinsky¹*

¹ *Sevastopol State University, Sevastopol, Russia*

ABSTRACT

Review article on the topic: determining the optimal temperature for shrinkage of polymer films at the present time, when import-substituted analogues of packaging materials capable of replacing foreign consumables are most in demand in the operating conditions of foreign packaging machines and lines. At the same time, it is important to choose the right temperature, effectively shrink the film, and preserve its physical and mechanical properties. A fragment of the conducted research is presented in the work.

Keywords: polymer film materials, food industry, effective film shrinkage.

Введение. Упаковка пищевых продуктов рассматривается как система подготовки пищевых продуктов к транспортировке, распределению, хранению, розничной продаже и конечному использованию с оптимальными затратами. Пищевая упаковка является неотъемлемой частью современного общества. Всемирной организацией здравоохранения отмечено, более 25% пищевых продуктов выбрасывается впустую из-за плохой упаковки (исследования 2019). Таким образом, очевидно, что оптимальная упаковка может сократить количество пищевых отходов. Более того, в настоящее время потребительский спрос на удобные и качественные продукты питания повысил значимость упаковки для пищевых продуктов и в настоящее время, когда наиболее востребованы импортозамещенные аналоги упаковочных материалов способных заменить иностранные расходные материалы в условиях эксплуатации иностранных упаковочных аппаратов и линий. Блок разогрева автомата упаковки пищевой продукции в термоусадочную пленку представлен на рис 1.

Фотополимеризованные материалы широко используются в покрытиях, клеях и стоматологических материалах. Полимеризационная усадка и связанное с ней напряжение при полимеризации остаются проблемой, например в стоматологии, однако именно этот эффект положительно использован в процессе упаковки пищевой продукции в термоусадочную пленку. Чтобы понять проблему усадки/напряжения и ее влияние на различные свойства материалов, необходимы простые методы анализа. Значения усадки, полученные с помощью различных методов испытаний, в том числе объёмных измерений усадки могут отличаться для одних и тех же материалов, расхождения возникают не только из-за различий в методах измерения, но и из-за трудностей с подготовкой одинаковых образцов.

Цель работы определение оптимальной температуры для термоусадки полимерных пленок, с целью импортозамещения и возможности использования отечественного сырья для упаковки пищевой продукции.

В современной промышленности полимерные пленки занимают важное место в различных отраслях, включая упаковку. Одним из ключевых процессов, влияющих на качество и свойства полимерных пленок, является термоусадка.

Термоусадка представляет собой процесс, при котором пленка подвергается воздействию высокой температуры, что приводит к изменению ее размеров и формы. Определение оптимальной температуры для термоусадки является критически важным шагом, поскольку неправильно выбранная температура может привести к деформации, разрыву или потере необходимых свойств материала.

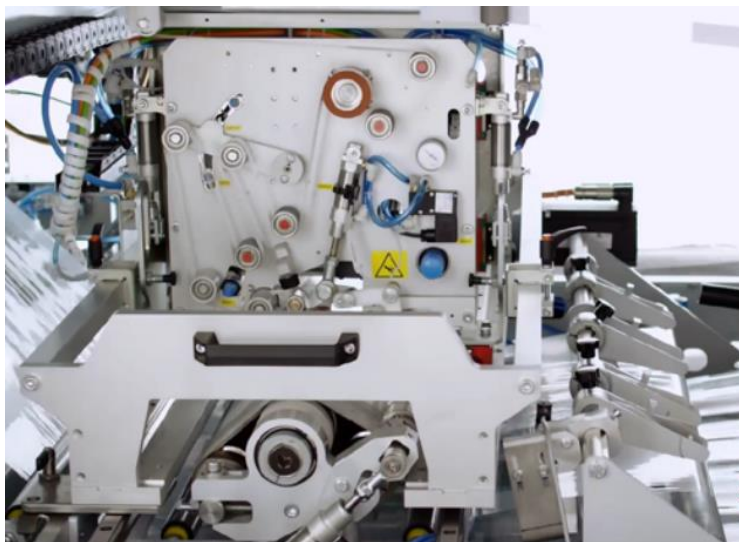


Рисунок 1. Рассматриваемый блок разогрева автомата упаковки пищевой продукции в термоусадочную пленку

В работе [10] подробно рассматривается влияние температуры на процесс термоусадки полимерных пленок. Авторы провели эксперименты с различными типами полимеров и выявили, что для каждого из них существует оптимальная температура, при которой достигается лучшее качество упаковки.

Оптимальная температура для термоусадки полимерных пленок обычно находится в диапазоне от 120 °С до 180 °С, однако для достижения наилучшего результата рекомендуется проводить предварительные испытания с использованием образцов пленки и анализировать их поведение при различных температурах[1-7].

Другие исследования на тему оптимальной температуры для термоусадки полимерных пленок подчеркивают важность контроля процесса нагрева и времени выдержки при работе с различными материалами. Некорректные параметры могут привести к деформации или недостаточной упаковке.

Таким образом, для выбора наилучшей температуры термоусадки необходимо учитывать не только физические свойства самой пленки, но и условия её применения, оборудование и требования к конечному продукту.

Определение оптимальной температуры нагрева полимерных пленок, созданных на основе аморфных и частично-кристаллических полимеров, с целью их использования в пищевой промышленности в качестве экологически безопасных упаковочных материалов актуально.

Исследованы характеристики и структура полимерных пленок, созданных на основе аморфных и частично кристаллических полимеров. Анализированы особенности физических свойств этих пленок в широких диапазонах температур и времени, а также молекулярная подвижность их сегментов.

В качестве объектов исследования были выбраны промышленные полимерные пленки, изготовленные на основе аморфных и частично-кристаллических полимеров: полистирола (ПС), поливинилхлорида (ПВХ), полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП) и полиэтилентерефталата (ПЭТ). Испытания полимерных пленок проводились с использованием стандартных методов при комнатной температуре, а также в широком диапазоне температур.

Механические свойства аморфных и частично-кристаллических образцов изучались в статическом и динамическом режимах с использованием резонансных методов. Исследования проводились в условиях постоянных и переменных напряжений для различных типов деформаций в широком диапазоне температур, с учетом различных времен и частот.

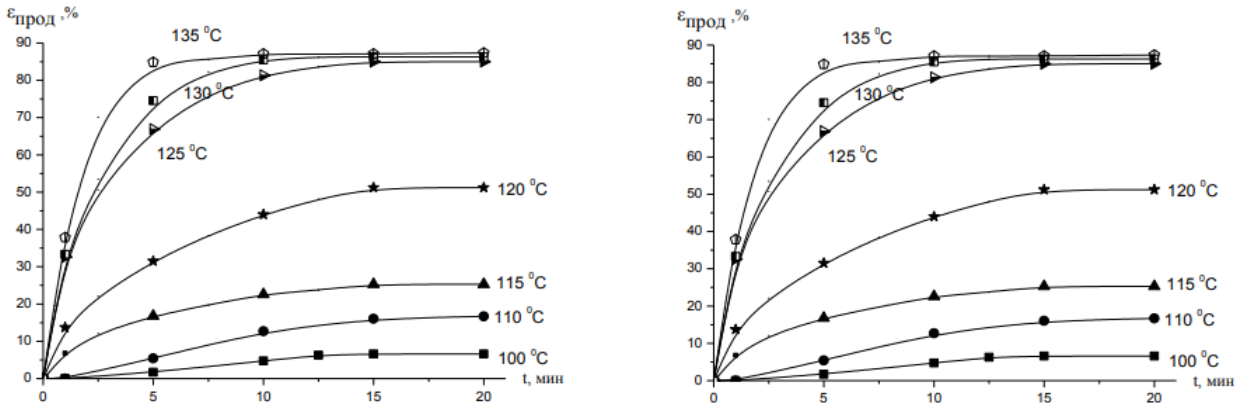


Рисунок 2. Исследование прочности различных полимеров

Физические процессы, лежащие в основе термоусадки материала, представляют собой конформационные транс-гомо переходы. Эти переходы обеспечивают трансформацию полимерных макромолекулярных цепей из квазиравновесного более вытянутого (ориентированного) состояния в исходное равновесное состояние, которое характеризуется более свернутым состоянием макромолекулярных цепей.

Кинетические характеристики кооперативных конформационных переходов в ПЭ имеют следующие значения: $E_0 = 30 \dots 70$ кДж/моль; предэкспоненциальный множитель составляет $10^6 \dots 10^7$ [3], [4]. Значение E_0 объясняется тем, что изменения размеров полимеров (деформация, ползучесть, усадка и другие изменения размеров) связаны не только с одиночными гоштранцами, но и с транс-гош переходами, энергия активации которых для ПЭ составляет $12 \dots 15$ кДж/моль. Также происходит одновременное существование нескольких конформационных переходов в сегментах макромолекул. Мы проведем оценку высоты барьера U_{12} , используя уравнение. Аррениуса:

$$U_{32} = RT \ln \frac{t}{t_0}$$

где t – время, необходимое для завершения полной усадки при определенной температуре; t_0 – предэкспоненциальный коэффициент; U_{32} – энергия активации процесса термоусадки; R – универсальная газовая постоянная. ($8,31$ Дж/(К моль)); T – температура, К. Подставив соответствующие значения, получаем $U_{32} = 65 \dots 68$ кДж/моль. Полученное значение энергии активации процесса термоусадки полимеров с эффектом памяти формы подтверждает, что физические механизмы, лежащие в основе этого эффекта, связаны с корпоративными конформационными переходами от вытянутого состояния макромолекул (квазиравновесное состояние 3) к состоянию устойчивого структурного равновесия (состояние 1). Зависимости

коэффициента продольной усадки полиолефиновой модифицированной пленки от времени теплового воздействия, представленные на рисунке 1, имеют затухающий характер и могут быть описаны экспоненциальным законом реакции.

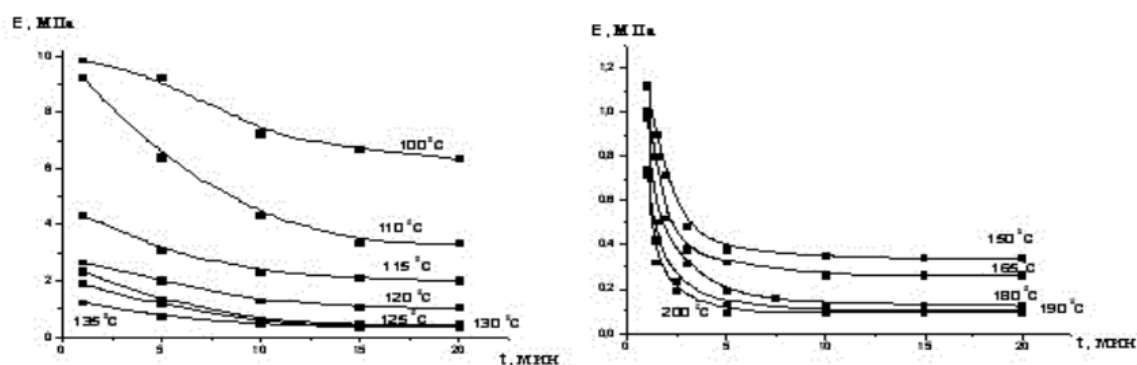
$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{нас}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau(T)}}\right)$$

где ε – коэффициент усадки пленки в определенный момент времени t имеет важное значение при заданной температуре; ε – это максимально возможный коэффициент термоусадки пленки при указанной температуре; t обозначает время, в течение которого осуществляется тепловое воздействие при конкретной температуре; $\tau = f(T)$ представляет собой время релаксации процесса, то есть период, необходимый для преодоления потенциального барьера U32. В таблице 1 приведены значения максимальных продольных деформаций и соответствующие им показатели времени релаксации. τ .

Таблица 1

Температура, T°С	$\varepsilon_{\text{нас}}$, %	τ , мин	Температура, T°С	$\varepsilon_{\text{нас}}$, %	τ , мин
115	25	4,76	150	88	2,0
120	51	3,7	165	88	1,5
125	85	2,7	180	88	1,1
130	86	2,4	190	88	0,7
135	87	2,2	200	88	0,27

В конечной полиолефиновой модифицированной пленки с эффектом памяти формы получены следующие характеристики: разрывное напряжение $\sigma_P = 290$ МПа, разрывная деформация $\varepsilon_P = 24$ %, модуль упругости $E_0 = 17$ МПа. Значения разрывных напряжений у исследуемой термоусаживаемой полиолефиновой пленки на порядок выше, чем у обычной полиолефиновой пленки, в частности, для полиэтилена высокого давления значения разрывного напряжения σ_P лежат в интервале 9...16 МПа, для полиэтилена низкого давления 15...45 МПа [8], что связано с наличием поперечных сшивок между макромолекулами полиэтилена.. На рис. 3 представлены зависимости полученные в результате экспериментальных исследований: начального модуля упругости и разрывной деформации пленки, подвергнутой воздействию различных (100...200°С) температурно-временных режимов и охлажденной до 20°С



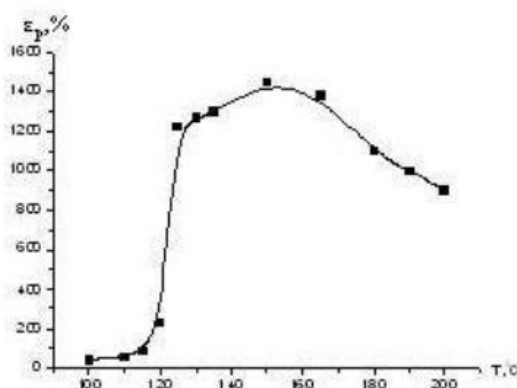


Рисунок 3. Зависимости начального модуля упругости и разрывной деформации пленки, подвергнутой воздействию различных (100...200°C) температурно-временных режимов и охлажденной до 20°C

Вывод. Эксперимент продемонстрировал, что с увеличением температуры и продолжительности теплового воздействия деформационно-прочные характеристики модифицированной полимерной пленки значительно изменяются: модуль упругости снижается, а зависимость разрывной деформации имеет четко выраженный максимум в диапазоне 150°C.

Список литературы

1. Зеленов Ю.В., Валгин Д.Д., Краснов А.П., Шевелев А.Ю. Влияние радиационных излучений на структуру и свойства полимерных пленок. / Материалы Международной конференции «Прогресс-2002» (27-30 мая 2002 г.). - Иваново: ИГТА, 2002. - с. 105-107.
2. Роева Н.Н., Минакова К.В., Валгин Д.Д., Зеленов Ю.В. Сравнительный анализ химической устойчивости и влияния влаги на полимерные пленки разных классов. / Материалы Межвузовской научно-технической конференции «Современной проблемы текстильной и легкой промышленности» (15-16 мая 2002 г.). - Москва: РосЗИТЛП, 2002. - с.84-86.
3. Козлов А.И., Валгин Д.Д., Зеленов Ю.В. Количественная оценка работоспособности полимерных пленок, / Материалы Международной научной конференции молодых ученых МКХТ-2002 (27-30 ноября 2002 г.). - Москва: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2002. - с. 193-196.
4. Краснов А.П., Валгин Д.Д., Зеленов Ю.В. Диагностика и модификации полимерных пленок на изменение их структуры и физических свойств. / Материалы Международной научной конференции молодых ученых МКХТ-2002 (27-30 ноября 2002 г.). - Москва: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2002. - с. 197-199.
5. Козлов А.И., Валгин Д.Д., Астафьева Т.Н., Зеленов Ю.В. Влияние термомеханической обработки на свойства пленок из некристаллических полимеров. / ВИНТИ РАН. - №4112. - Москва. - 2002. - с.14-16.
6. Краснов А.П., Валгин Д.Д., Юрченко С.А., Зеленов Ю.В. Влияние термомеханической обработки на свойства пленок из кристаллических полимеров. / ВИНТИ РАН. - № 4117. - Москва. - 2002. - с. 19-21.
7. Роева Н.Н., Валгин Д.Д. Влияние термообработки на изменение свойств упаковочных материалов на основе некристаллических полимеров. / Материалы XII Международной

научно-практической конференции «Стратегия развития пищевой промышленности» (28-29 ноября 2006 г.). - Москва: МГУТУ, 2006. -том 1.-с. 304- 309.

8. Роева Н.Н., Валгин Д.Д. О способах модификации полимерных пленок, используемых в пищевой промышленности. / Материалы XII Международной научно-практической конференции «Стратегия развития пищевой промышленности» (28-29 ноября 2006 г.). - Москва: МГУТУ, 2006. -том 1. -с. 325-327.

9.Поляков А.В., Дунтов Ф.И., Софиев А.Э. и др. Полиэтилен высокого давления. Научнотехнические основы промышленного синтеза. – Л., 1998.

10. Авторское свидетельство № 307909 А1 СССР, МПК C08J 5/18, B29C 71/00. Способ термообработки полимерных термопластичных пленок : № 1104545/23-5 : заявл. 23.09.1966 : опубл. 01.07.1971 / Ю. Е. Лобанов, Л. В. Погодин, А. Л. Штерензон ; заявитель Уральский научно-исследовательский химический институт. – EDN KTJYGT.

