

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

№1(13)
2021

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

Выходит 4 раза в год

ISSN 2658-4727

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО- ПРИБОРОСТРОЕНИИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Севастополь, 2021

Главный редактор
Копп В.Я., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Заместитель главного редактора
Филипович О.В., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Научный редактор
Бохонский А.И., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Ответственный секретарь
Майстришин М.М., к.т.н.
(г. Севастополь)

Редакционная коллегия
Пашков Е.В., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Обжерин Ю.Е., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Краснодубец Л.А., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Скатков А.В., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Песчанский А.И., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Рзаев Р.Р., д.т.н., проф.
(г. Баку)
Прейс В.В., д.т.н., проф.
(г. Тула)
Дьяченко В.А., д.т.н., проф.
(г. Санкт-Петербург)
Волков А.Н., д.т.н., проф.
(г. Санкт-Петербург)
Петрешин Д.И., д.т.н., проф.
(г. Брянск)
Доронина Ю.В., д.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Васютенко А.П., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Балакин А.И., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Круговой А.Н., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Скидан А.А., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Рапацкий Ю.Л., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Заморёнов М.В., к.т.н.
(г. Севастополь)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ

- Карлов А.Г., Шпаковский Н.А.** Процедуры и результат применения софта solving mill 2.0 при модернизации установки для производства пластиковых гранул 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Крамарь В.А., Альчаков В.В., Мирянова В.Н., Панасенко В.В.** Математические модели решетчатых функций при моделировании робототехнических комплексов во временной и комплексной областях 13
- Копп В.Я., Флоря П.Н., Заморёнов М.В., Заморёнов И.М.** Анализ функционирования однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики методом путей 22
- Ченгарь О.В., Шевченко В.И., Малицкая А.А., Левченко И.В.** Аналитический обзор технологических решений в области реализации дисциплины «базы данных» в дистанционном формате 31
- Заморёнов М.В., Копп В.Я., Заморёнова Д.В., Федоренко С.Н.** Метод путей, как метод анализа функционирования системы контроля с отключением и упреждающим восстановлением компонента 45
- Осипов К.Н.** Эмпирическое моделирование технических систем с учетом структурных изменений 56
- Балакин А.И., Балакина Н.А., Волошина Н.А.** Анализ функционирования производственного модуля с возвратом продукции на повторное обслуживание, на основе имитационного моделирования 61
- Вожжов А.А.** Особенности совмещения чистовой токарной обработки несколькими резцами 71
- Бохонский А.И., Варминская Н.И., Рыжков А.И.** Управление с минимальной энергией переносным движением объектов 76
- Копп В.Я., Флоря П.Н., Заморёнов М.В., Заморёнов И.М.** Имитационная модель однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики 84

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

- Волошина Н.А., Балакина Н.А.** Исследование влияния расположения проходных каналов плоских эжекторов на статическую характеристику преобразователя 91

УДК 658.512.2(075.8)

**ПРОЦЕДУРЫ И РЕЗУЛЬТАТ ПРИМЕНЕНИЯ СОФТА SOLVING
MILL 2.0 ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ УСТАНОВКИ ДЛЯ
ПРОИЗВОДСТВА ПЛАСТИКОВЫХ ГРАНУЛ**

Карлов А.Г.¹, Шпаковский Н.А.²

***Аннотация.** Представлен анализ особенностей технологии производства и установки для изготовления пластиковых гранул, из которых на следующей операции отливают корпуса для мониторов и других изделий. Обоснована целесообразность модернизации такой автоматизированной установки из-за нестабильности качества гранул. Представлены процедуры и результаты применения софта Solving Mill 2.0 при модернизации установки для производства пластиковых гранул. Этот программный продукт поддерживает процессы генерации изобретательских идей при создании концептуальных решений инновационных продуктов и технологий автоматизированных процессов в различных сферах промышленного производства.*

***Ключевые слова.** Концепт инновационного проекта, Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), Общая теория сильного мышления (ОТСМ), Алгоритм исправления проблемных ситуаций (АИПС), пластиковые гранулы, экструдер, нежелательный эффект, вредный продукт, моделирование полезной системы.*

Пластиковые гранулы (первичные и вторичные) бывают разных видов в зависимости от используемого исходного сырья – как полимера, так и пластика. От его состава зависят свойства и целевое назначение готового продукта. В зависимости от этого параметра выделяют следующие виды гранулята: полиэтилен – лидер в мировом производстве пластиков; полипропилен; поливинилхлорид; полистирол; поликарбонат. Большинство видов пластика имеют сходную технологию производства.

Производство полимеров осуществляется по следующей схеме: газ, полученный после переработки угля, газа или нефти, очищают до получения широкой углеводородной фракции, которую затем разделяют на отдельные фракции; эти фракции нагревают до образования мономеров; после этого осуществляется полимеризация и получается готовый полимер.

Как правило, заводы, где из газов получают полимеры, не занимаются производством пластика. Сырье отправляется на предприятия, которые специализируются на выпуске такого продукта. Там технологический

процесс грануляции проходит в такой последовательности: смешивание суспензии; создание смеси; экструзия.

Приготовление суспензии предполагает разведение стабилизаторов в пластификаторе. Чтобы получить однородный состав с максимальной дисперсностью, эти вещества смешиваются в заданной пропорции. [1].

Гранулы – это сухой сыпучий пластик, плотно спрессованный в твердые частицы круглой, цилиндрической или кубической формы. Гранулирование позволяет сохранить первоначальные свойства исходного сырья, одновременно устраняя недостатки, характерные для порошкового состояния. Современное производство гранул подразумевает получение первичного или вторичного пластика разных видов. Первичные гранулы изготавливают из соответствующих полимеров, которые производятся из газов, выделяемых при переработке нефти, газа и угля. Вторичные гранулы – из бывших в употреблении пластиковых изделий или отходов их производства. Сырье для производства первичных и вторичных гранул совершенно разное. В первом случае требуется намного больше компонентов.

Для производства первичных гранул используются следующие составляющие: полимер, наполнитель, пластификатор, катализатор, краситель, отвердитель [1]. Как всякое иное оборудование, установки для автоматизированного производства пластиковых гранул требуют модернизации.

Целью настоящего исследования является анализ процедур и результаты применения софта Solving Mill 2.0 при модернизации установки для производства пластиковых гранул.

В Севастопольском государственном университете (СевГУ) в 2021 году организована Лаборатория ТРИЗ на базе кафедры ПСАТП (Приборные системы и автоматизация технологических процессов). Лаборатория оснащена новым лицензионным программным обеспечением процессов поддержки изобретательской деятельности. Тип софта Solving Mill 2.0 – SaaS (Software as a Service – Облачное программное обеспечение); CAI (Computer Aided Innovation – Автоматизация инновационных процессов). Программное обеспечение создано компанией Target Invention Ltd. Научный руководитель компании Шпаковский Н.А. Коллектив кафедры ПСАТП сотрудничает с этой компанией уже много лет. Данная статья открывает серию публикаций, позволяющую достаточно детально ознакомиться с сутью, особенностями, базовыми процедурами и результатами применения софта Solving Mill 2.0. в процессах генерации изобретательских идей при создании концептуальных решений инновационных продуктов и технологий автоматизированных процессов в различных сферах промышленного производства. Более детально с возможностями софта и некоторыми изобретательскими решениями,

полученными в результате работы с этим программным продуктом можно познакомиться в источниках [2–7].

В новой Лаборатории ТРИЗ обеспечена возможность одновременной работы двадцати студентов, магистрантов, аспирантов, инженеров других кафедр СевГУ над своими инновационными проектами. Создана программа для специалистов промышленных предприятий России, которые могут проходить курсы повышения квалификации по программе Института дополнительного профессионального образования. Результаты индивидуальной работы каждого студента или инженера по собственной тематике могут быть сохранены под паролями в виде отчетов по их проектам с возможностью автоматически генерировать заготовки патентной формулы предполагаемого изобретения.

Не все задачи можно решить традиционными методами. Есть задачи, которые требуют прорывного мышления, но не все имеют навыки такого мышления. Solving Mill помогает им раскрыть свой потенциал решателя.

Теоретическая основа Solving Mill: теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), общая теория сильного мышления (ОТСМ) и смежные дисциплины. Методическая основа: алгоритм исправления проблемных ситуаций (АИПС-2015).

В основу алгоритма исправления проблемных ситуаций, АИПС [2, 4]. 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. Он показал высокую эффективность, и на его основе была разработана компьютерная программа Solving Mill. Это эффективный софтверный продукт для устранения проблемных ситуаций, простой и лёгкий в обучении и пользовании. Софт организован так, чтобы направить пользователя к сильному решению наиболее быстрым и результативным маршрутом.

Софт Solving Mill предназначен для поддержки решения нетривиальных технических задач от анализа проблемной ситуации до проверки эффективности полученного решения. Эти задачи могут быть связаны с процессами разработки, производства, хранения, транспортировки, продажи продукции, организации работы предприятия, рекламы и т.п. Алгоритм и инструменты универсальны для проблем из любых областей промышленности, могут применяться для других областей деятельности, где возникают нетривиальные задачи. Продукт, получаемый при использовании Solving Mill это концептуальные решения, направленные на устранение проблемных ситуаций, возникающих при разработке, изготовлении, эксплуатации и утилизации устройства или технологии. Отдельная область применения Solving Mill - для организации обучения студентов университетов. Софт становится ядром, вокруг

которого легко организовать как учебный процесс, так и практические занятия, причем это можно делать как при контакте с преподавателем, так и дистанционно. Этот программный продукт имеет два неоспоримых преимущества перед описанными выше: софт разработан на русском языке русскоязычными авторами и имеет вполне приемлемую стоимость для бюджетных организаций.

Рассмотрим некоторые из процедур и результатов применения софта Solving Mill 2.0 при модернизации установки для производства пластиковых гранул. Промышленная установка производит пластиковые гранулы, из которых на следующей операции отливают корпуса для мониторов и другие изделия. Нежелательный эффект заключается в том, что качество гранул неравномерное. Большинство гранул – очень хорошего качества, но время от времени качество пластика в гранулах не выдерживает никакой критики.

Установка устроена следующим образом (**Рис.1**). Основная часть установки – это шнек, установленный внутри корпуса. На выходе из корпуса расположен экструдер. Это пластина с отверстиями и вращающийся нож. Вокруг корпуса расположен мощный нагреватель. Сверху установлен бункер для ингредиентов. Ингредиенты к шнеку подаются снизу бункера через окно для подачи.

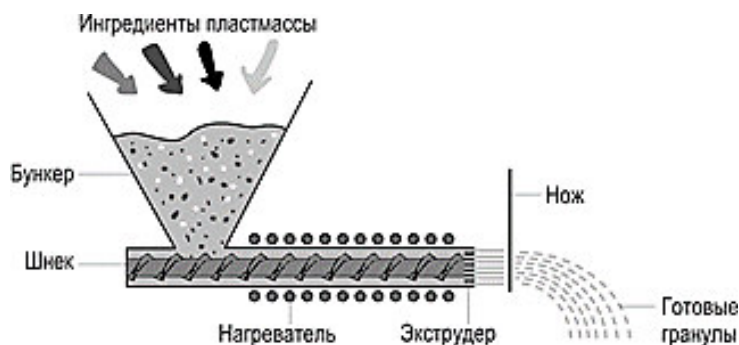


Рис.1 – Промышленная установка производства пластиковых гранул

Работает установка следующим образом. Для получения пластмассы в бункер подаются ингредиенты пластмассы четырёх типов. Это три компонента, образующие пластмассу, и катализатор. Размеры и плотность ингредиентов разные. Внизу бункера установлен шнек, который перемешивает ингредиенты, подавая их в зону нагрева, где происходит плавление и термохимическая реакция. Расплав готовой пластмассы выходит из экструдера через многочисленные отверстия и нарезается вращающимся ножом на гранулы диаметром 3 мм и длиной 10 мм. Как обеспечить равномерное качество пластиковых гранул?

Решатель проблемы получает от программы вопросы и нужно находить ответы для продолжения диалога в соответствии с алгоритмом.

Один из первых вопросов на мониторе: «Вы можете сформулировать условие задачи?». Ответ может быть «да» или «нет». Далее диалог

продолжается. Если ответ решателя «нет», то следует следующая серия вопросов-ответов, комментариев.

Определение обстоятельств проблемной ситуации. Укажите полезный продукт - пластиковые гранулы.

Опишите процесс производства полезного продукта. Термохимическая реакция трех компонентов и катализатора

Укажите нежелательный эффект (НЭ). Плохое качество части гранул.

Определите машину, производящую полезный продукт. Машина - установка для производства пластиковых гранул.

Процесс - производство пластиковых гранул путем термохимической реакции.

Вредный продукт - пластиковые гранулы низкого качества.

Полезный продукт - пластиковые гранулы заданного качества.

Сформулируйте главную полезную функцию (ГПФ) машины "Установка для производства пластиковых гранул" - производить пластиковые гранулы.

Опишите состав и устройство машины "Установка для производства пластиковых гранул". Компоненты машины: модуль для хранения ингредиентов и катализатора (бункер); модуль термохимической реакции, включающий нагреватель, расположенный вокруг корпуса шнека; модуль, формирующий гранулы (экструдер и вращающийся нож).

Функциональная модель. Для получения пластмассы в бункер подаются ингредиенты трех типов, образующие пластмассу, и катализатор. Размеры, форма и плотность ингредиентов разные. Внизу бункера установлен шнек, который перемешивает частицы ингредиентов и катализатора, и перемещает их в зону действия нагревателя. Нагреватель нагревает смесь, расплавляет ее. При этом начинается термохимическая реакция, смесь гомогенизируется, ее компоненты соединяются друг с другом. Расплав готовой пластмассы продавливается шнеком через экструдер, выходит через его многочисленные отверстия, и нарезается вращающимся ножом на гранулы диаметром 3 мм и длиной 10 мм.

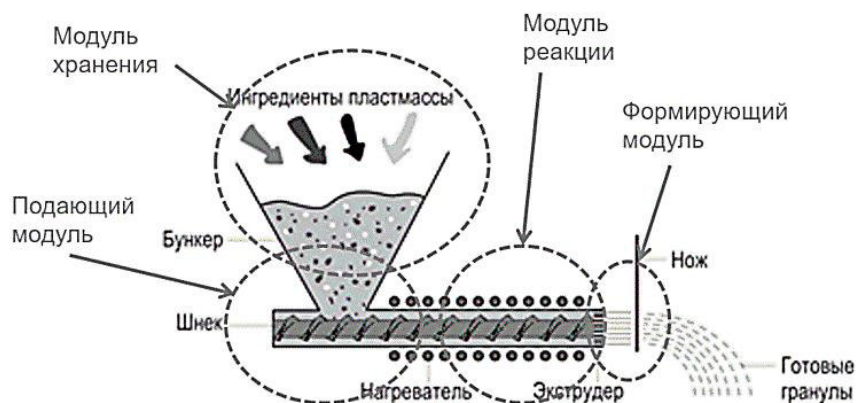


Рис.2 – Функции модулей промышленной установки производства пластиковых гранул.

Выявление проблемной операции. Опишите, как выполняется проблемная операция, построив модель полезной системы.

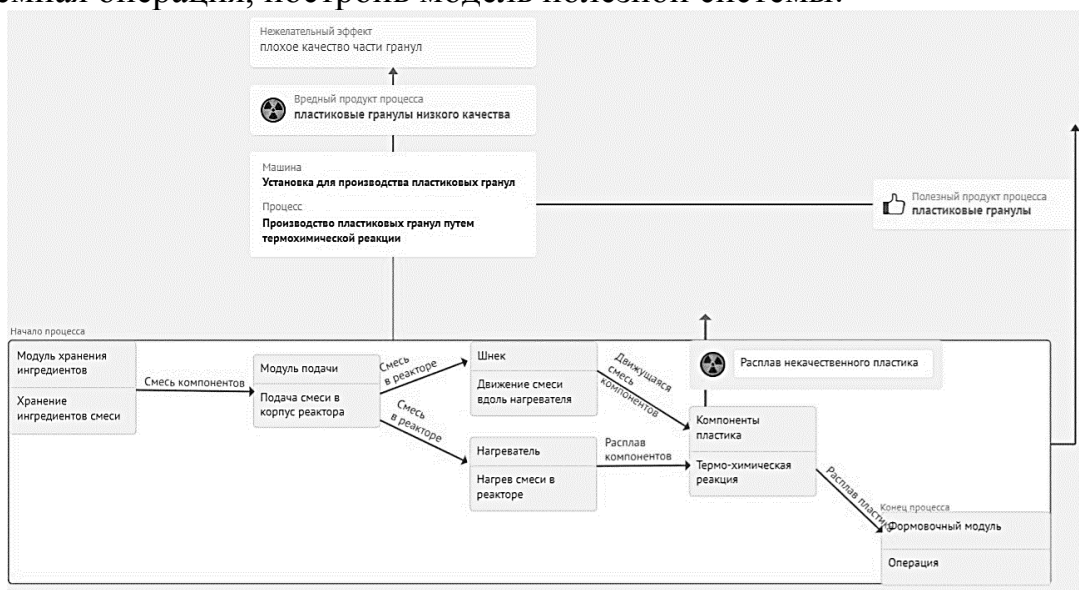


Рис.3 – Выявление проблемной операции и построение модели полезной системы

Далее программа предлагает описать конфликт и провести причинно-следственный анализ. После этого решатель должен сформулировать гипотезы устранения конфликта. Причины конфликта по результатам причинно-следственного анализа. Вероятные гипотезы: Катализатор не поступает в зону реакции. Недостаток катализатора негативно влияет на термохимическую реакцию расплава пластика. Стенки бункера плоские. Стенки бункера тонкие. Шнек не вращается. Шнек не сбалансирован динамически. Подшипниковые опоры шнека жесткие. Шнек вибрирует при вращении. Стенки бункера вибрируют. Возникает расслоение смеси компонентов в бункере. Катализатор уходит из бункера. Катализатор отсутствует в смеси компонентов в бункере. Катализатор отсутствует во входном окне реактора. Недостаток катализатора негативно влияет на термохимическую реакцию расплава пластика. Смесь подается в бункер периодически. Катализатор не подается в бункер.

После формулирования гипотез решатель должен продолжить решение, выбрав справа гипотезу для построения модели задачи на её основе. В "Менеджере гипотез" можно проанализировать каждую гипотезу и сформулировать подходящую модель задачи. Например, можно выбрать гипотезу Г5 – «Разорвать жесткую связь между бункером и корпусом шнека».

Далее по алгоритму следует шаг: Выбор модели задачи: "Условия в оперативной зоне"; "Действие в оперативной зоне"; "Техническое противоречие", "Физическое противоречие". Выбираем последнее из этого списка.

Формулировка модели задачи "Физическое противоречие" для данной проблемы. Требуется разрешить физическое противоречие: компонент зазор между бункером и корпусом шнека должен быть пустой для получения желаемого результата обеспечить отсутствие контакта бункера с корпусом, и должен быть закрыт для выполнения исходной функции подача ингредиентов в корпус шнека без потерь.

К какому атрибуту компонента относится требование? Программа предлагает такие альтернативы: 1. Размер, форма, положение; 2. Поверхность; 3. Внутренняя структура, материал; 4. Динамичность; 5. Управляемость. Выбираем первую альтернативу.

Далее следует выбрать тип противоречия: противоречивые значения параметра требуются в одном и том же месте; противоречивые значения параметра требуются в одно и то же время; противоречивые значения параметра требуются в одном и том же месте в одно и то же время.

Выбираем последний из списка «Тип противоречий».

Затем выполняем шаг - Выберите подходящее преобразование: 1. Перейти в надсистему; 2. Перейти на микроуровень; 3. Скомбинировать компонент с заданным состоянием и "анти-компонент" с другим состоянием; 4. Изменить фазовое состояние компонента, его части или окружающей среды; 5. Использовать возникновение или исчезновение вещества за счёт разложения, соединения, ионизации и т.п.

Модель решения.

Для разрешения противоречия, связанного с атрибутом размер/форма/положение, изменить фазовое состояние компонента, его части или окружающей среды.

Укажите, как это преобразование может быть применено для решения данной задачи:

Изменить состояние зазора между бункером и корпусом шнека. В исходном варианте зазор закрыт стальным листом (жёстким материалом). Согласно линии "Динамизация" из «Менеджера идей» этот материал можно преобразовать в гибкий.

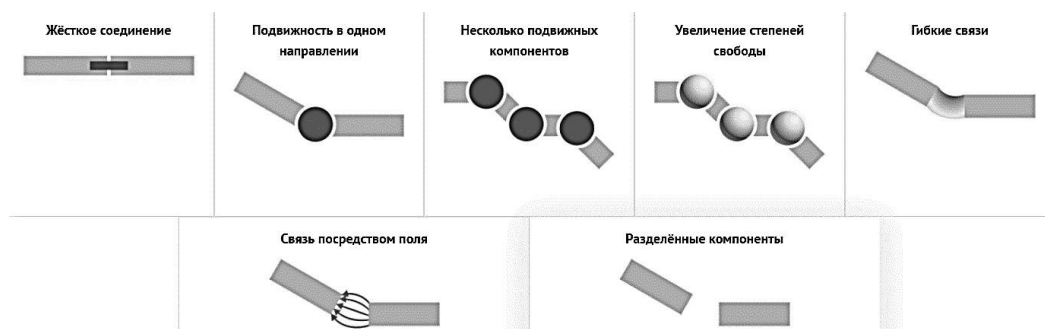


Рис.4 – Линия «Динамизация» из «Менеджера идей» софта Solving Mill 2.0

Далее решатель должен ответить на вопросы. Требуется ли преобразовать систему? Требуется ли дополнительно преобразовать компоненты системы? Оба ответа – нет.

Программа задаёт вопрос решателю: Данное решение устраивает? Ответ – да.

Завершение проекта.

Решение завершено - поздравляем! В отчёте по проекту представлены все найденные решения в виде автоматически сгенерированной заготовки патентной формулы предполагаемого изобретения.

Финальное решение.

Подвесить бункер независимо от корпуса шнека таким образом, чтобы между бункером и корпусом шнека образовался зазор. Зазор закрыть эластичным фартуком, выполненным из резиноподобного материала. Для усиления идеи решения: выполнить ингредиенты смеси и катализатор в виде гранул одного размера и формы; выполнить на стенках бункера рёбра жесткости; покрыть стенки бункера виброизолирующим материалом или изготовить бункер из плотного пористого пластика.

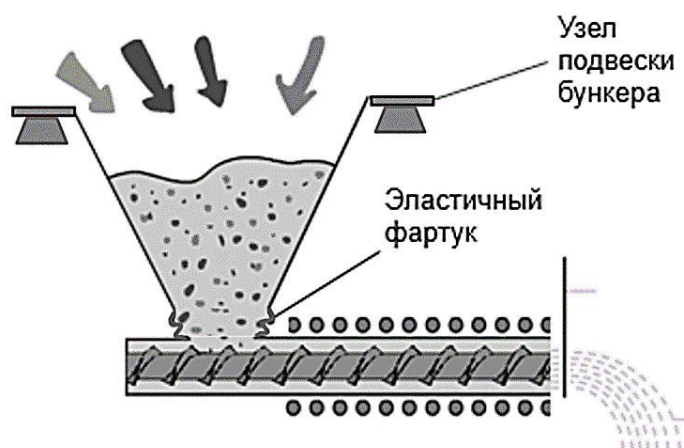


Рис.5 – Финальное решение модернизированной установки производства пластиковых гранул

Выводы:

Применение программного продукта Solving Mill 2.0. позволяет значительно ускорить процессы анализа предпроектной ситуации, лучше понять алгоритмы поиска изобретательских решений, приобрести и закрепить на практике необходимые навыки поиска нетривиальных изобретательских решений, иметь возможность получать автоматически сгенерированную заготовку патентной формулы предполагаемого изобретения.

Библиографический список

1. Производство гранул как бизнес [Электронный ресурс]. - URL: <https://moybiznes.org/proizvodstvo-granul>
2. Шпаковский Н.А. ОТСМ-ТРИЗ: подходы и практика применения : учеб. пособие / Н.А. Шпаковский. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 504 с.
3. Карлов А.Г. Обоснование актуальности и алгоритма системной подготовки специалистов проектирования инновационной техники и технологий / А.Г. Карлов // Научный журнал «Автоматизация и измерения в машино- приборостроении», №3, 2018, С. 26-43.
4. Карлов А.Г. Особенности алгоритмов решения изобретательских задач и софта для поддержки процессов проектирования средств автоматизации инструментами ОТСМ-ТРИЗ-технологий / А.Г. Карлов, Н.А. Шпаковский // Научный журнал «Автоматизация и измерения в машино- приборостроении», №4, 2018, С. 3-17.
5. Карлов А.Г. Идеи, изобретения, инновации в сфере автоматизации технологий и технических систем: учебное пособие / А.Г. Карлов, Н.А. Шпаковский – М.: Центр каталог, 2019. – 536 с.
6. Сайт компании Target Invention Ltd [Электронный ресурс]. – URL: <https://solving-mill.com/>
7. Сайт Обучающая система ТРИЗ-тренер [Электронный ресурс]. – URL: <https://triztrainer.ru/>

Bibliograficheskiy spisok

1. Proizvodstvo granul kak biznes [Elektronnyj resurs]. - URL: <https://moybiznes.org/proizvodstvo-granul>
2. SHpakovskij N.A. OTSM-TRIZ: podhody i praktika primeneniya : ucheb. posobie / N.A. SHpakovskij. – М.: INFRA-M, 2018. – 504 s.
3. Karlov A.G. Obosnovanie aktual'nosti i algoritma sistemnoj podgotovki specialistov proektirovaniya innovacionnoj tekhniki i tekhnologij / A.G. Karlov // Nauchnyj zhurnal «Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii», №3, 2018, S. 26-43
4. Karlov A.G. Osobennosti algoritmov resheniya izobretatel'skih zadach i softa dlya podderzhki processov proektirovaniya sredstv avtomatizacii instrumentami OTSM-TRIZ-tekhnologij / A.G. Karlov, N.A. SHpakovskij // Nauchnyj zhurnal «Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii», №4, 2018, S. 3-17.
5. Karlov A.G. Idei, izobreteniya, innovacii v sfere avtomatizacii tekhnologij i tekhnicheskikh sistem: uchebnoe posobie / A.G. Karlov, N.A. SHpakovskij – М.: Centr katalog, 2019. – 536 s.
6. Sajt kompanii Target Invention Ltd [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://solving-mill.com/>
7. Sajt Obuchayushchaya sistema TRIZ-trener [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://triztrainer.ru/>

¹*Карлов Антон Георгиевич, к.т.н., доцент, antkar38cam@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

²*Шпаковский Николай Андреевич, к.т.н., Мастер ТРИЗ, научный руководитель, triztrainer@gmail.com, Бедарусь, Минск, Target Invention Ltd*

**PROCEDURES AND RESULT OF APPLICATION OF SOFTWARE
SOLVING MILL 2.0 IN MODERNIZATION OF PLANT FOR PRODUCTION
OF PLASTIC GRANULES.**

A.G. Karlov, N.A. Shpakovsky

An analysis of the features of the production technology and installation for the manufacture of plastic granules, from which, in the next operation, casings for monitors and other products are cast, are presented. The expediency of modernizing such an automated installation due to the instability of the quality of the granules has been substantiated. The procedures and results of using the Solving Mill 2.0 software during the modernization of the installation for the production of plastic granules are presented. This software product supports the processes of generating inventive ideas when creating conceptual solutions for innovative products and technologies of automated processes in various areas of industrial production.

Key words: concept of an innovative project, Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ), General Theory of Strong Thinking (OTSM), Algorithm for correcting problem situations (AIPS), plastic granules, extruder, undesirable effect, harmful product, useful system modeling.

Karlov Anton Georgievich, Ph.D., docent, antkar38cam@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Shpakovsky Nikolay Andreevich, Ph.D., Master of TRIZ, scientific director, triztrainer@gmail.com, Belarus, Minsk, Target Invention Ltd

УДК 681.51

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕШЕТЧАТЫХ ФУНКЦИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВО ВРЕМЕННОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ ОБЛАСТЯХ

Крамарь В.А.¹, Альчаков В.В.², Мирянова В.Н.³, Панасенко В.В.⁴

Аннотация. В работе предложены некоторые подходы к описанию решетчатых функций, использующиеся в основном при исследовании дискретных систем управления робототехническими комплексами во временной и комплексной областях.

Ключевые слова. Решетчатая функция, дискретная система, математическая модель, робототехнический комплекс.

Введение. В современных системах управления, в функционально-сложных робототехнических комплексах широко применяются дискретные устройства. В таких системах некоторая часть информации (возможно и вся информация) формируется в отдельные, дискретные моменты времени и обрабатывается далее на ЭВМ. Этот процесс связан с появлением так называемых решетчатых функций в ходе решения определенного круга задач, таких как дискретизация, восстановление сигналов, экстраполяция, спектральный анализ, анализ и синтез цифровых систем, построение алгоритмов машинного обучения и многих других. Несмотря на то, что задача исследования решетчатой функции имеет длительную историю [1-5]

В системах управления посредством ЭВМ формируются управляющие сигналы для воздействия на систему (объект) в соответствии с целью и способом управления. Для построения математических моделей и анализа процессов, происходящих в системе, вводятся характерные переменные – функции времени. Пусть $x(t)$ – одна из подобных переменных, которая наблюдается в дискретные моменты времени $t_k, k = 0, 1, 2, \dots$. Обычно эти моменты времени являются равноотстоящими, и можно принять, что $t_k = kT, k = 0, 1, 2, \dots$. Процесс формирования значений $x(0), x(T), x(2T), \dots, x(kT), \dots$

(1)

функции $x(t)$ в дискретные моменты времени называют процессом квантования (или процессом съема данных). В частности, он может осуществляться в измерительном устройстве (дискретном датчике). Постоянную T называют периодом квантования (или съема данных).

Таким образом, процесс квантования характеризуется двумя функциями – функцией $x(t)$ непрерывного t времени и функцией

дискретного времени kT , $k = 0, 1, 2, \dots$, которая представляется, вообще говоря, бесконечной последовательностью указанных выше значений.

Функцию дискретного времени называют решетчатой функцией. Отображение функции непрерывного времени в решетчатую графически представляет **Рис.1**.

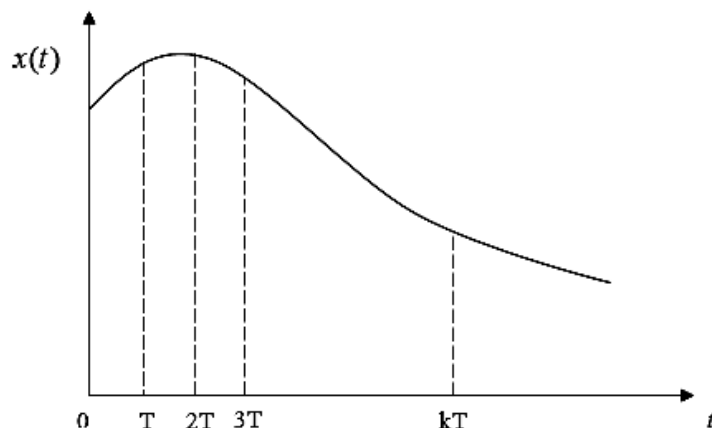


Рис.1 – Отображение функции непрерывного времени в решетчатую функцию

Общий подход к описанию решетчатой функции. В теории импульсных систем процесс квантования принято представлять соотношением

$$x^*(t) = x(t)\delta_T^*(t) \quad (2)$$

в котором $x(t)$ — квантуемая функция непрерывного времени, $\delta_T^*(t)$ — немодулированная последовательность бесконечных по амплитуде импульсов с площадью равной единице, которая представляется в виде

$$\delta_T^*(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT). \quad (3)$$

В этом равенстве $\delta(t)$ — дельта функция Дирака, определяемая соотношениями

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0; \\ 0, & t \neq 0; \end{cases} \quad (4)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t - \theta)dt = f(\theta). \quad (5)$$

В целом, соотношение (2) определяет процесс амплитудной модуляции значениями функции $x(t)$ последовательности δ -функций, в результате которого возникает последовательность $x^*(t)$ бесконечных по амплитуде модулированных импульсов $x(t)\delta(t - kT)$ с площадью, равной

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\delta(t - kT)dt = x(kT). \quad (6)$$

Таким образом, соотношение (2) действительно описывает процесс квантования, поскольку площадь всякого модулированного импульса в (2) представляет собою соответствующее значение решетчатой функции (1).

Пусть $x(t) \equiv 0$ при $t < 0$. Тогда, преобразование Лапласа функции $x^*(t)$ имеет вид

$$x^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} x^*(t) dt = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT) e^{-skT}, \quad (7)$$

что следует в силу (2), (3) и (5), поскольку

$$\int_0^{\infty} e^{-st} x(t) \delta(t - kT) dt = x(kT) e^{-skT}. \quad (8)$$

Соотношение (7) определяет дискретное преобразование Лапласа решетчатой функции $x(kT)$, $k = 0, 1, 2, \dots$, что обычно записывают в виде

$$x^*(s) = D\{x(kT)\} = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT) e^{-skT} \quad (9)$$

и называют коротко D – преобразованием.

Замечание 1. Дискретное преобразование Лапласа решетчатой функции определяется непосредственно в виде бесконечной суммы (9). Равенство же (7) показывает, что дискретное преобразование Лапласа $x^*(s)$ может рассматриваться как преобразование Лапласа (обычное) модулированной импульсной функции (2). Такая интерпретация характерна для теории импульсных систем.

Наглядно указанный процесс амплитудной модуляции описывают как действие импульсного элемента, входом которого является $x(t)$, а выходом – $x^*(t)$.

Дискретному преобразованию Лапласа (7) можно придать и интегральную форму, играющую фундаментальную роль в теории импульсных (дискретных) систем. Вернемся к преобразованию Лапласа в левой части (7). Имеем

$$x^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} x(t) \delta_T^*(t) dt. \quad (10)$$

Полагая, что $x(t)$ функция оригинал, подставим сюда интеграл обращения Римана-Меллина

$$x(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{C-j\infty}^{C+j\infty} e^{-pt} x(p) dp. \quad (11)$$

Обратим внимание на то, что в выражениях (10) и (11) используются разные (а именно s и p соответственно) обозначения для аргументов функций $x^*(s)$ и $x(p)$, поскольку эти функции рассматриваются совместно и значения их аргументов не обязаны совпадать.

Замечание 2. В (11) вещественное число C больше абсциссы сходимости интеграла Лапласа для $x(t)$. Это означает, например, что в случае дробно-рациональной функции $x(s)$ эта постоянная больше реальной части всякого полюса $x(s)$, т.е. контур интегрирования $(C - j\infty, C + j\infty)$ (параллельный мнимой оси) располагается строго справа от множества всех полюсов этой функции.

В результате указанной подстановки после изменения порядка интегрирования найдем

$$x^*(s) = \frac{1}{2\pi j} \int_{C-j\infty}^{C+j\infty} x(p) \int_0^\infty e^{-(s-p)t} \delta_T^*(t) dt dp. \quad (12)$$

Заметим, что $x(t) \equiv 0$ при $t < 0$ (как функция-оригинал). Поэтому в равенстве (2) $t \geq 0$, а значит, и (3) рассматривается при $t \geq 0$. Тогда, все слагаемые суммы с $k < 0$ равны нулю, т.к. $t - kT \neq 0$. Таким образом,

$$\int_0^\infty e^{-(s-p)t} \delta_T^*(t) dt = \sum_{k=0}^\infty \int_0^\infty e^{-(s-p)t} \delta(t - kT) dt = \sum_{k=0}^\infty e^{-(s-p)kT}$$

в силу свойства δ -функции (5).

Рассмотрим ряд в правой части равенства. Запишем для краткости $\varepsilon = e^{-(s-p)T}$. При условии

$$\operatorname{Re}(s - p) > 0 \quad (13)$$

имеем $|\varepsilon| < 1$, а значит

$$\sum_{k=0}^\infty \varepsilon^k = \frac{1}{1 - \varepsilon} = \frac{1}{1 - e^{-(s-p)T}}, \quad (14)$$

причем имеем абсолютную сходимость рассматриваемого ряда.

В итоге из (12) следует представление

$$x^*(s) = \frac{1}{2\pi j} \int_{C-j\infty}^{C+j\infty} x(p) \frac{1}{1 - e^{-(s-p)T}} dp, \quad (15)$$

играющее фундаментальную роль в теории импульсных и дискретных систем.

Представление (15) является фундаментальным средством анализа дискретных систем, делая возможным эффективное применение методов теории аналитических функций и контурного интегрирования.

Прямой подход в описании решетчатых функций. Выше рассмотрен существующий подход в описании решетчатых функций как средства отображения дискретной информации [5]. Он основан на понятии импульса и импульсного элемента, формализуемых с помощью δ -функции Дирака. Надо сказать, что этот подход сложился под влиянием теории импульсных систем, импульсные элементы которых существуют физически, как реальные технические объекты с достаточно сложным математическим описанием формируемых ими импульсов. Можно

упомануть широко распространенные системы с амплитудно-импульсной и широтно-импульсной модуляцией сигналов.

В рассмотренном же нами случае физически импульсного элемента нет. Он вводится формально как вспомогательное средство описания с дискретным съемом информации. Возникает вопрос, а нельзя ли обойтись без такого формального приема?

Здесь предлагается другой подход к описанию дискретного съема данных – процесса квантования по времени.

Будем рассматривать решетчатые функции как функции непрерывного времени. Пусть период квантования равен T . Введем функцию выделения целой части $E[\frac{t}{T}]$, которую определим следующим образом

$$E[\frac{t}{T}] = k, \quad kT \leq t < (k+1)T, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (16)$$

Решетчатую функцию $x(kT)$, $k = 0, 1, 2, \dots$, как последовательность значений функции $x(t)$ непрерывного времени, образующихся в процессе фиксации ее значений (съема данных) с периодом T , будем рассматривать в виде функции непрерывного времени t и обозначать символом $x_T^*(t)$.

Эту функцию определим следующим образом:

$$x_T^*(t) = \begin{cases} x(kT), & t = kT, \quad k = E[\frac{t}{T}]; \\ 0, & t \neq kT, \quad k = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (17)$$

Понятно, что функция $x_T^*(t)$ является разрывной функцией с конечным числом разрывов первого рода на всяком конечном временном интервале.

Такое определение распространим и на абстрактные решетчатые функции, которые нам потребуются в анализе процессов квантования и обработки информации.

Введем в рассмотрение, в частности, единичную решетчатую функцию

$$1_T^*(t) = \begin{cases} 1, & t = kT, \quad k = E[\frac{t}{T}]; \\ 0, & t \neq kT, \quad k = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (18)$$

Теперь решетчатую функцию (17) можно представить в виде

$$x_T^*(t) = x(t)1_T^*(t). \quad (19)$$

Соотношение (19) аналогично соотношению (2), но определяет процесс модуляции (абстрактный) без псевдофункций. Результатом модуляции (19) являются не импульсы (с бесконечной амплитудой и конечной площадью), а сами значения решетчатой функции.

Вместо преобразования Лапласа $L\{x^*(t)\}$ (см. соотношение (7)) введем теперь сразу дискретные преобразования Лапласа $D\{x_T^*(t)\} = x_T^*(s)$ как

$$x_T^*(s) = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT) e^{-skT}. \quad (20)$$

Конечно, с точностью до обозначений (20) повторяет (9), но образуется прямым образом (как бесконечная сумма) без обращения к преобразованию Лапласа импульсной модуляции (2). Связь между функциями изображениями $x_T^*(s)$ и $x(s)$ устанавливается по (19) более естественным на наш взгляд и строгим образом без необходимости обоснований с действиями над псевдофункциями. Пусть $x(t)$ – функция-оригинал, для которой справедливо представление (11) и замечание 2. Имеем

$$x(kT) = \frac{1}{2\pi j} \int_{C-j\infty}^{C+j\infty} e^{pkT} x(p) dp. \quad (21)$$

Подставляя в (20), найдем

$$x_T^*(s) = \frac{1}{2\pi j} \int_{C-j\infty}^{C+j\infty} x(p) \sum_{k=0}^{\infty} e^{-(s-p)kT} dp. \quad (22)$$

При условии (14) ряд под знаком интеграла сходится абсолютно и имеет сумму (14). В итоге получаем представление для изображения решетчатой функции (имеется в виду, конечно, дискретное преобразование Лапласа), которое имеет смысл повторить с новым обозначением решетчатой функции (значок T) и условием применимости (14)

$$x_T^*(s) = \frac{1}{2\pi j} \int_{C-j\infty}^{C+j\infty} x(p) \frac{1}{1 - e^{-(s-p)T}} dp, \quad \operatorname{Re}(s - p) > 0 \quad (22')$$

Условие (13), обеспечивающее абсолютную сходимость ряда в (14) можно записать в виде $\operatorname{Re} s > C$. Поэтому при всяком фиксированном s имеем указанную на рис. 2. геометрическую картинку для соотношения (22). На **Рис.2** звездочкой обозначены полюсы $p_* = s + \frac{2\pi j}{T} k$ функции

$$\frac{1}{1 - e^{-(s-p)T}}.$$

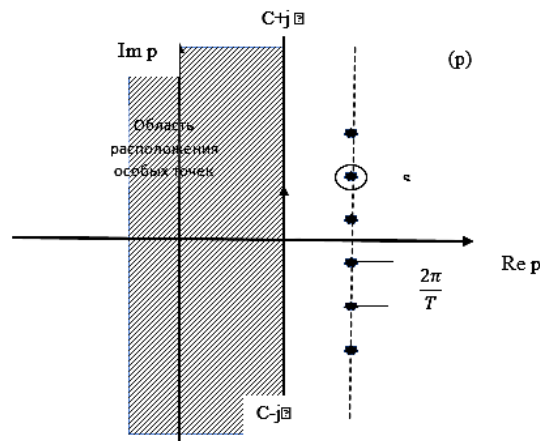


Рис.2 – Плоскость расположения нулей и полюсов

Особые точки функции $x(p)$ (полюсы для дробно-рациональной функции) располагаются строго слева от контура $(C - j\infty, C + j\infty)$ интегрирования, параллельного мнимой оси. Точка s – строго справа от этого контура. Полюсы p_* функции $\frac{1}{1 - e^{-(s-p)T}}$ являются корнями уравнения

$$1 - e^{-(s-p)T} = 0,$$

имеющего очевидные решения $p_* = s + \frac{2\pi j}{T}k$, где k – любое число из бесконечного множества $\{\dots -1, 0, 1, \dots\}$.

Это следует из того, что по формуле Эйлера

$$e^{-2\pi jk} = \cos(-2\pi k) + j\sin(-2\pi k) = 1$$

при всяком k из указанного множества. Таким образом, множество полюсов функции $\frac{1}{1 - e^{-(s-p)T}}$ бесконечно и счетно.

Вывод. В статье представлены различные варианты математического описания решетчатых функций, как элемента построения математических моделей дискретных систем автоматического управления. Приведены описания решетчатых функций как во временной области, так и в области изображения по Лапласу. Предлагаемые подходы основаны, с одной стороны, на представлении решетчатых функций как средства отображения дискретной информации, а с другой стороны, на представлении решетчатых функции как функции непрерывного времени. Имея разные варианты математических моделей описания решетчатых функций, мы можем в дальнейшем перейти к построению математических моделей различных дискретных систем управления, в т.ч. расширяя предлагаемые подходы на построение математических моделей многотактных непрерывно-дискретных систем автоматического управления [6].

Библиографический список

1. Sripad A. A necessary and sufficient condition for quantization errors to be uniform and white / A. Sripad, D. Snyder // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 25, no. 5, 1977. – pp. 442–448
2. Martinez-Nuevo P. Amplitude sampling / P. Martinez-Nuevo, H. Lai, A.V. Oppenheim // Allerton Conference on Communication, Control and Computing, 2016. – pp. 17-22
3. Tsividis Y. Continuous-time digital signal processing / Y. Tsividis // Electron. Lett., vol. 39, no. 21, 2003. – pp. 1551–1552
4. Stanley R.P. Enumerative combinatorics / R.P. Stanley. – ser. Cambridge studies in advanced mathematics: 49, New York : Cambridge University Press, 2012.
5. Martínez-Nuevo P. Lattice Functions for the Analysis of Analog-to-Digital Conversion / P. Martínez-Nuevo, A.V. Oppenheim // IEEE Transactions on Information Theory, 2018. – pp. 1-8
6. Барабанов А.Т. Стабилизируемость линейных непрерывно-дискретных систем управления / А.Т.Барабанов, Е.В.Лазарева // Вестн. СевГТУ : [сб. науч. тр.]: Автоматизация процессов и управление. №58, 2004. – С. 57-65

Bibliograficheskij spisok

1. Sripad A. A necessary and sufficient condition for quantization errors to be uniform and white / A. Sripad, D. Snyder // IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 25, no. 5, 1977. – pp. 442–448
2. Martinez-Nuevo P. Amplitude sampling / P. Martinez-Nuevo, H. Lai, A.V. Oppenheim // Allerton Conference on Communication, Control and Computing, 2016. – pp. 17-22
3. Tsividis Y. Continuous-time digital signal processing / Y. Tsividis // Electron. Lett., vol. 39, no. 21, 2003. – pp. 1551–1552
4. Stanley R.P. Enumerative combinatorics / R.P. Stanley. – ser. Cambridge studies in advanced mathematics: 49, New York : Cambridge University Press, 2012.
5. Martínez-Nuevo P. Lattice Functions for the Analysis of Analog-to-Digital Conversion / P. Martínez-Nuevo, A.V. Oppenheim // IEEE Transactions on Information Theory, 2018. – pp. 1-8
6. Barabanov A.T. Stabiliziruemost' linejnyh nepreryvno-diskretnyh sistem upravleniya / A.T.Barabanov, E.V.Lazareva // Vestn. SevGTU : [sb. nauch. tr.]: Avtomatizaciya processov i upravlenie. №58, 2004. – S. 57-65

¹Крамарь Вадим Александрович, д.т.н., профессор, kramarv@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,

²Альчаков Василий Викторович, к.т.н., alchakov@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,

³Мирянова Вера Николаевна, к.т.н., доцент, *1myn1@mail.ru*, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,

⁴Панасенко Владимир Валерьевич, *panasenckovolodia@yandex.ru*, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

**MATHEMATICAL MODELS OF LATTICE FUNCTIONS IN
SIMULATION OF ROBOTIC COMPLEXES IN TIME AND COMPLEX
DOMAINS**

V.A. Kramar, V.V. Alchakov, V.N. Miryanova, V.V. Panasenko

The paper proposes some approaches to the description of lattice functions, which are used mainly in the study of discrete control systems for robotic complexes in the time and complex domains.

Keywords: lattice function, discrete system, mathematical model, robotic complex.

Kramar Vadim Alexandrovich, doctor of technical science, professor, kramarv@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Alchakov Vasiliy Viktorovich, Ph.D., alchakov@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Miryanova Vera Nikolaevna, Ph.D., docent, 1myn1@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Panasenko Vladimir Vasilievich, panasenckovolodia@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ КАЛЕНДАРНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ МЕТОДОМ ПУТЕЙ

Копп В.Я.¹, Флоря П.Н.², Заморёнов М.В.³, Заморёнов И.М.⁴

Аннотация. Проводится анализ однокомпонентной системы, рассматривается ее функционирование при использовании стратегии календарной профилактики с отключением рабочего элемента на период профилактики. Проводится укрупнение системы с непрерывным фазовым пространством состояний. При использовании метода путей определяются функции распределения времен пребывания системы в подмножествах работоспособных и неработоспособных состояний. Результаты моделирования сравниваются с данными, полученными с использованием теоремы о среднестатистическом времени пребывания системы в подмножестве состояний.

Ключевые слова. Полумарковская система, алгоритм фазового укрупнения, функция распределения, метод путей.

Проведение профилактического обслуживания позволяет продлить сроки эксплуатации технологического оборудования [1, 2, 3]. Известны случаи, когда незначительные неисправности второстепенных узлов оборудования, которые могли быть ликвидированы за короткое время, приводили к выводу из строя основного оборудования, влекущему за собой довольно сложные ремонтные работы. Для решения данной задачи возможны различные подходы к планированию проведения профилактического технического обслуживания. Одним из которых является такая стратегия технического обслуживания, при которой реализуется календарная профилактика, предполагает выбор оптимальных сроков ее проведения, на основе предварительно построенной математической модели [4–10], позволяющей производительность оборудования с учетом профилактики.

В данной статье предлагается рассмотреть процесс функционирования однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики. В частности, в качестве такой системы может быть рассмотрен производственный модуль, основой которого является единица технологического оборудования, выполняющая одну из операций процесса селективной сборки изделий.

Рассмотрим функционирование такой системы. Время ее безотказной работы – СВ α_1 с ФР $F_1(t) = P(\alpha_1 \leq t)$, время восстановления системы – СВ β_1 с ФР $G_1(t) = P(\beta_1 \leq t)$. В случайные моменты времени (через промежутки времени α_2 с ФР $F_2(t) = P(\alpha_2 \leq t)$) проводится профилактика, время

проведения профилактики – СВ β_2 с ФР $G_2(t) = P(\beta_2 \leq t)$. Профилактика проводится, если момент начала профилактики попал на период работы системы. После проведения профилактики работа системы начинается сначала (рабочие свойства системы полностью обновляются). СВ $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР $F_1(t), G_1(t), G_2(t)$ существуют плотности $f_1(t), g_1(t), g_2(t)$.

Для описания функционирования системы используем ПМВ $\{\xi_n, \theta_n; n \geq 0\}$ и соответствующий ему ПМП $\xi(t)$. Введем полумарковские состояния:

$$E = \{221, 210, 102x, 112z, 200y\},$$

где 221 – началась профилактика, работа системы прервана; 210 – профилактика завершена, работа системы началась сначала; 102x – системы завершила работу, началось восстановление; время, оставшееся до проведения профилактики $x > 0$; 112z – произошло восстановление системы; время, оставшееся до проведения профилактики $z > 0$; 200y – профилактика не проводится, т.к. момент профилактики попал на момент восстановления системы; время, оставшееся до окончания восстановления $y > 0$.

Граф состояний системы приведен на **Рис.1**.

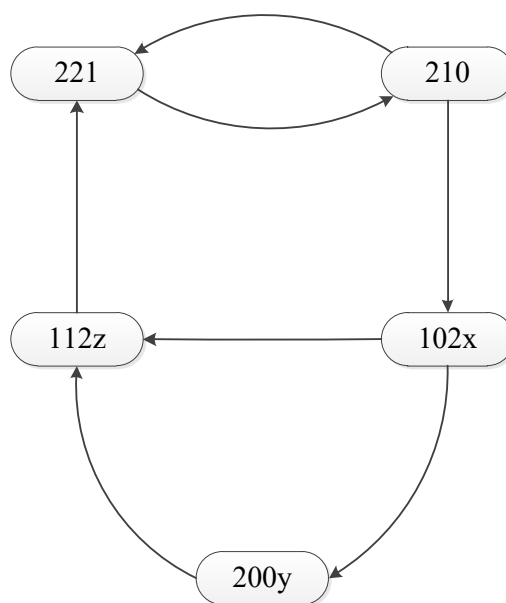


Рис.1 – Граф состояний системы

При построении полумарковской модели приняты следующие допущения:

за время восстановления происходит не более одного события – начало профилактики;

за время между профилактиками происходит не более 1 отказа.

Для данной системы подмножества работоспособных E_+ и неработоспособных E_- состояний имеют вид:

$$E_+ = \{221, 210, 112z\}, E_- = \{200y, 102x\}.$$

Для достижения цели моделирования, а именно определения коэффициента готовности такой системы воспользуемся методом траекторий. Требуется произвести укрупнение системы, то есть перейти от системы с непрерывным фазовым пространством состояний к системе с дискретными состояниями.

В таком случае непрерывные компоненты будут равны:

$$x = [\alpha_2 - \alpha_1]^+; y = [\beta_1 - x]^+; z = P_{102}^{112}[x - \beta_1]^+ + P_{102}^{200}[y - \beta_1]^+.$$

Отсюда, функции распределения выше указанных величин по теоремам Королюка В.С. [6] и Заморёнова М.В. [11] будут равны:

$$\begin{aligned} \bar{F}_x(t) &= \frac{\int_0^\infty [F_2(t+x) - F_2(x)]f_1(x)dy}{\int_0^\infty [1 - F_2(x)]f_1(x)dx}, \quad \bar{F}_y(t) = \frac{\int_0^\infty [G_1(t+x) - G_1(x)]f_x(x)dy}{\int_0^\infty [1 - G_1(x)]f_x(x)dx}, \\ \bar{F}_z(t) &= P_{102}^{112} \frac{\int_0^\infty [F_x(t+x) - F_x(x)]g_1(x)dy}{\int_0^\infty [1 - F_x(x)]g_1(x)dx} + P_{102}^{200} \frac{\int_0^\infty [F_y(t+x) - F_y(x)]g_1(x)dy}{\int_0^\infty [1 - F_y(x)]g_1(x)dx}. \end{aligned}$$

Для вычисления последней ФР определены вероятности переходов:

$$\begin{aligned} P_{221}^{210} &= 1; P_{200}^{112} = 1; P_{112}^{221} = 1; P_{210}^{221} = \int_0^\infty \bar{F}_2(t)f_1(t)dt; \\ P_{210}^{102} &= \int_0^\infty \bar{F}_1(t)f_2(t)dt; P_{102}^{112} = \int_0^\infty \bar{F}_x(t)g_1(t)dt; P_{102}^{200} = \int_0^\infty \bar{G}_1(t)f_x(t)dt. \end{aligned}$$

Определив вероятности переходов, запишем времена пребывания системы в состояниях:

$$\begin{aligned} \theta_{221} &= \beta_2, \theta_{210} = \alpha_1 \wedge \alpha_2, \theta_{112x} = \alpha_1 \wedge x, \theta_{200x} = \alpha_2 \wedge x, \\ \theta_{102x} &= \beta_1 \wedge x, \end{aligned}$$

где $\wedge$ – знак минимума.

Найдем ФР времен пребывания системы в состояниях:

$$\begin{aligned} \bar{F}_{221}(t) &= \bar{G}_2(t), \bar{F}_{210}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t), \bar{F}_{112}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_x(t), \\ \bar{F}_{200}(t) &= \bar{F}_2(t) \cdot \bar{F}_x(t), \bar{F}_{102}(t) = \bar{G}_1(t) \cdot \bar{F}_x(t). \end{aligned}$$

Для получения искоемых характеристик необходимо воспользоваться найденным в [12] стационарное распределение вложенной цепи Маркова (ВЦМ). Для этого требуется составить и решить систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{221} = \frac{1}{2 + 2 \cdot P_{210}^{102} + P_{210}^{102} \cdot P_{102}^{200} \cdot P_{200}^{112}}, \\ \rho_{210} = \frac{1}{2 + 2 \cdot P_{210}^{102} + P_{210}^{102} \cdot P_{102}^{200} \cdot P_{200}^{112}}, \\ \rho_{102} = \frac{P_{210}^{102}}{2 + 2 \cdot P_{210}^{102} + P_{210}^{102} \cdot P_{102}^{200} \cdot P_{200}^{112}}, \\ \rho_{200} = \frac{P_{210}^{102} \cdot P_{102}^{200}}{2 + 2 \cdot P_{210}^{102} + P_{210}^{102} \cdot P_{102}^{200} \cdot P_{200}^{112}}, \\ \rho_{112} = \frac{P_{210}^{102} \cdot P_{102}^{112} + P_{210}^{102} \cdot P_{102}^{200} \cdot P_{200}^{112}}{2 + 2 \cdot P_{210}^{102} + P_{210}^{102} \cdot P_{102}^{200} \cdot P_{200}^{112}}. \end{array} \right.$$

Для определения функций распределения времен пребывания системы в подмножествах E_+ и E_- воспользуемся методом путей [13].

Введем гипотезы реализации каждого из путей:

H_1 – система попала в состояния 221 и 210 по 1 разу;

H_2 – система попала в состояния 221 и 210 по 2 раза;

H_3 – система попала в состояния 221 и 210 по 3 раза;

H_n – система попала в состояния 221 и 210 по n раз.

Тогда вероятности реализации каждого из путей будут равны:

$$P(H_1) = P_{210}^{102}; \quad P(H_2) = \left(P_{210}^{221}\right) \cdot P_{210}^{102}; \quad P(H_3) = \left(P_{210}^{221}\right)^2 \cdot P_{210}^{102};$$

$$P(H_n) = \left(P_{210}^{221}\right)^{n-1} \cdot P_{210}^{102}.$$

Определим ФР времен пребывания системы в каждом из путей.

$$F_{P1}(t) = F_{112}(t) * (f_{221}(t) * f_{210}(t));$$

$$F_{P2}(t) = F_{112}(t) * (f_{221}(t) * f_{210}(t))^{2(*)};$$

$$F_{P3}(t) = F_{112}(t) * (f_{221}(t) * f_{210}(t))^{3(*)};$$

$$F_{Pn}(t) = F_{112}(t) * (f_{221}(t) * f_{210}(t))^{n(*)},$$

где $*$ – знак операции свертки.

Тогда суммарная ФР времени пребывания системы в подмножестве M_+ примет вид:

$$F_{\Sigma}(t) = P_{210}^{102} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left(P_{210}^{221}\right)^{n-1} \cdot (f_{210}(t) * f_{221}(t))^n * F_{112}(t),$$

Перейдя в область изображения по Лапласу получим:

$$\dot{F}_{\Sigma}(s) = P_{210}^{102} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (P_{210}^{221})^{n-1} \cdot (\dot{f}_{210}(s) * \dot{f}_{221}(s))^n * \dot{F}_{112}(s).$$

Учитывая, что второе слагаемое представляет собой бесконечно убывающую геометрическую прогрессию со знаменателем ρ , и первым членом A_0 равными:

$$\rho = P_{210}^{221} \cdot \dot{f}_{210}(s) \cdot \dot{f}_{221}(s); A_0 = P_{210}^{102} \cdot \dot{f}_{210}(s) \cdot \dot{f}_{221}(s) \cdot \dot{F}_{112}(s),$$

имеем:

$$F_{\Sigma}(s) = \frac{P_{210}^{102} \cdot \dot{f}_{210}(s) \cdot \dot{f}_{221}(s) \cdot \dot{F}_{112}(s)}{1 - P_{210}^{221} \cdot \dot{f}_{210}(s) \cdot \dot{f}_{221}(s)}.$$

Рассмотрим пример моделирования такой системы с известными параметрами распределения случайных величин.

Исходными данными для моделирования служат функции распределения $F_1(t)$, $F_2(t)$, $G_1(t)$ и $G_2(t)$; которым соответствует обобщенный закон Эрланга второго порядка с параметрами $\lambda_1, \lambda_2; \mu_1, \mu_2; \nu_1, \nu_2; \gamma_1, \gamma_2$ соответственно; причем

$$f_1(t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})}{\lambda_2 - \lambda_1}, f_2(t) = \frac{\mu_1 \mu_2 (e^{-\mu_1 t} - e^{-\mu_2 t})}{\mu_2 - \mu_1},$$

$$g_1(t) = \frac{\nu_1 \nu_2 (e^{-\nu_1 t} - e^{-\nu_2 t})}{\nu_2 - \nu_1}, g_2(t) = \frac{\gamma_1 \gamma_2 (e^{-\gamma_1 t} - e^{-\gamma_2 t})}{\gamma_2 - \gamma_1},$$

где $\lambda_1 = 0,0667 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 0,200 \text{ ч}^{-1}$; $\mu_1 = 0,1333 \text{ ч}^{-1}$, $\mu_2 = 0,400 \text{ ч}^{-1}$; $\nu_1 = 6,667 \text{ ч}^{-1}$, $\nu_2 = 20,0 \text{ ч}^{-1}$; $\gamma_1 = 2,667 \text{ ч}^{-1}$, $\gamma_2 = 8,00 \text{ ч}^{-1}$.

На **Рис.2** приведена искомая $F_{\Sigma}(t)$ функция распределения, полученная в данной работе.

Сравним значения математического ожидания полученной нами функции и математического ожидания, определяемого с помощью теоремы о среднестационарном времени пребывания системы в подмножестве состояний [7]:

$$T_+ = \frac{\sum_{i \in E_+} m_i \rho_i}{\sum_{k \in K \subset E_+} \sum_{j \in E_-} P_{kj} \rho_i}. \quad (1)$$

Математическое ожидание полученной нами функции распределения составляет

$$19.2182202963 \text{ ч},$$

тогда как, определяемое с помощью выражения (1) –

$$19.2182202963 \text{ ч}.$$

Нетрудно констатировать, что математические ожидания совпадают.

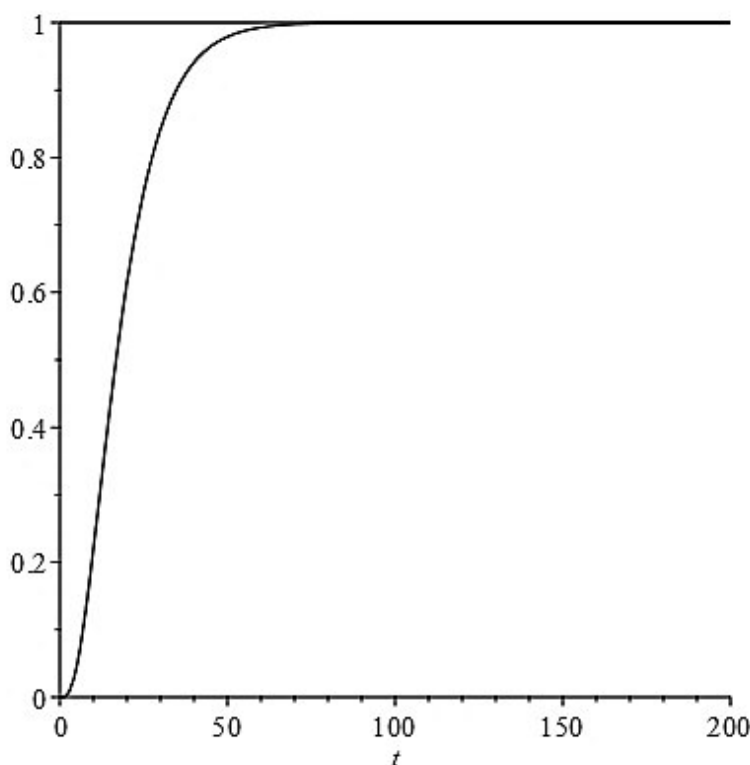


Рис.2 – Вид ФР времени пребывания системы в подмножестве E_+

Проведенное сравнение математических ожиданий времен пребывания в подмножестве работоспособных состояний, полученных на основании найденной в работе функции распределения и на основании теоремы о среднем стационарном времени пребывания полумарковского процесса в подмножестве состояний, показало правильность полученных результатов.

В дальнейших исследованиях планируется применение метода для моделирования более сложных технического обслуживания в автоматизированном производстве, а также применение построенной модели при оптимизации времен проведения профилактик в исследуемых системах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-01-00704а.

Библиографический список

1. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Пер. с нем. / Ф. Байхельт, П. Франкен – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем: Учеб. пособие для вузов / Е.Ю. Барзилович – М.: Высш. шк., 1982. – 231 с.

3. Глеч С.Г. Определение оптимальных моментов профилактики технологической ячейки с мгновенно пополняемым резервом времени / С.Г. Глеч // Сборник научных трудов СИЯЭиП, №5, 2001. – С. 187–193.
4. Королук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – Киев: Наукова думка, 1982. – 236 с.
5. Королук В.С. Стохастические модели систем. / В.С. Королук. – Киев: Наукова думка, 1989. – 208 с.
6. Королук В.С. Суперпозиция процессов марковского восстановления / В.С. Королук // Кибернетика, №4, 1981. – С. 121–124.
7. Королук В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – К.: Наук. Думка, 1976. – 181 с.
8. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input / A.I. Peschansky. – Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. – 138 p.
9. Райншке К. Оценка надежности систем с использованием графов / К. Райншке, И.А. Ушаков. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
10. Копп В.Я. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием / В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2000. – 284 с.
11. Заморёнов М.В. Метод моделирования регенерирующих систем / М.В. Заморёнов, В.Я. Копп, Д.В. Заморёнова // Математическое моделирование, Т.30, № 6, 2018. – С. 134–144.
12. Копп В.Я. Исследование функционирования однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики / В.Я. Копп, П.Н. Флоря, М.В. Заморёнов // Автоматизация и измерения в машиноприборостроении, №1(9), 2020. – С. 28–39.
13. Заморёнов М.В. Моделирование процесса функционирования обслуживающего устройства с обесценивающими отказами методом путей / М.В. Заморёнов, В.Я. Копп, Д.В. Заморёнова, Ю.Л. Явкун // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №4, 2016. – С. 225–236.

Bibliograficheskij spisok

1. Bajhel't F. Nadezhnost' i tekhnicheskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod. Per. s nem. / F. Bajhel't, P. Franken – М.: Radio i svyaz', 1988. – 392 с.
2. Barzilovich E.YU. Modeli tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnyh sistem: Ucheb. posobie dlya vuzov / E.YU. Barzilovich – М.: Vyssh. shk., 1982. – 231 с.

3. Glech S.G. Opredelenie optimal'nyh momentov profilaktiki tekhnologicheskoy yachejki s mgnovenno popolnyaemym rezervom vremeni / S.G. Glech // Sbornik nauchnyh trudov SIYAEiP, №5, 2001. – S. 187–193.
4. Korolyuk V.S. Processy markovskogo vosstanovleniya v zadachah nadezhnosti sistem / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin. – Kiev: Naukova dumka, 1982. – 236 s.
5. Korolyuk V.S. Stohasticheskie modeli sistem. / V.S. Korolyuk. – Kiev: Naukova dumka, 1989. – 208 s.
6. Korolyuk V.S. Superpoziciya processov markovskogo vosstanovleniya / V.S. Korolyuk // Kibernetika, №4, 1981. – S. 121–124.
7. Korolyuk V.S. Polumarkovskie processy i ih prilozheniya / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin. – K.: Nauk. Dumka, 1976. – 181 s.
8. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input / A.I. Peschansky. – Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. – 138 p.
9. Rajnshke K. Ocenka nadezhnosti sistem s ispol'zovaniem grafov / K. Rajnshke, I.A. Ushakov. – M.: Radio i svyaz', 1988. – 208 s.
10. Kopp V.YA Stohasticheskie modeli avtomatizirovannyh proizvodstvennyh sistem s vremennym rezervirovaniem / V.YA. Kopp, YU.E. Obzherin, A.I. Peschanskij. – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2000. – 284 s.
11. Zamoryonov M.V. Metod modelirovaniya regeneriruyushchih sistem / M.V. Zamoryonov, V.YA. Kopp, D.V. Zamoryonova // Matematicheskoe modelirovanie, T.30, № 6, 2018. – S. 134–144.
12. Kopp V.YA. Issledovanie funkcionirovaniya odnokomponentnoj sistemy s uchetom kalendarnoj profilaktiki / V.YA. Kopp, P.N. Florya, M.V. Zamoryonov // Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii, №1(9), 2020. – S. 28–39.
13. Zamoryonov M.V. Modelirovanie processa funkcionirovaniya obsluzhivayushchego ustrojstva s obescenivayushchimi otkazami metodom putej / M.V. Zamoryonov, V.YA. Kopp, D.V. Zamoryonova, YU.L. YAvkun // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. №4, 2016. – S. 225–236.

¹*Копп Вадим Яковлевич, д.т.н., профессор, v_kopp@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,*

²*Флоря Павел Николаевич, gydra@bk.ru, Россия, Севастополь, Федеральное государственное унитарное предприятие «13 судоремонтный завод Черноморского флота» Министерства обороны Российской Федерации*

³*Заморёнов Михаил Вадимович, к.т.н., доцент, Zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

⁴Заморёнов Илья Михайлович, студент, *ilia.zamoryonov@gmail.com*, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF A SINGLE-COMPONENT SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT CALENDAR PREVENTION BY THE METHOD OF PATHS

V.Y. Kopp, P.N. Florya, M.V. Zamoryonov, I.M. Zamoryonov

The article analyzes a one-component system. Its functioning is considered when using the calendar prevention strategy with the shutdown of the working element for the period of prevention. The enlargement of the system with a continuous phase space of states is carried out. When using the method of paths, the distribution functions of the sojourn times of the system in subsets of healthy and inoperable states are determined. The simulation results are compared with the data obtained using the theorem on the average time spent by the system in a subset of states.

Keywords: Semi-Markov system, phase consolidation algorithm, distribution function, method of paths.

Kopp Vadim Yakovlevich, doctor of technical science, professor, v_kopp@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University,

Florya Pavel Nikolaevich, gydra@bk.ru, Russia, Sevastopol, Federal state unitary enterprise "13 ship repair plant of the black sea fleet" of the Ministry of defense of the Russian Federation

Zamoryonov Mikhail Vadimovich, candidate of technical science, docent, Zamoryonoff@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

Zamoryonov Ilia Mikhailovich, student, ilia.zamoryonov@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ «БАЗЫ ДАННЫХ» В ДИСТАНЦИОННОМ ФОРМАТЕ

Ченгарь О.В.¹, Шевченко В.И.², Малицкая А.А.³, Левченко И.В.⁴

Аннотация. В данной статье проведен аналитический обзор технологических решений в области реализации технических дисциплин в дистанционном формате, позволяющих проводить подготовку IT-специалиста по работе с системами управления баз данных. В качестве учебного инструментария онлайн-курса по указанной тематике обоснована разработка программного приложения, интегрированного в СДО Moodle, которое бы имитировало интерфейс, похожий на консольный MySQL-клиент с подключением к реальному MySQL-серверу. Подобный прием позволит слушателю совершенствовать навыки построения SQL-запросов непосредственно из онлайн-курса, а преподавателю осуществлять контроль за процессом обучения с минимальными трудозатратами

Ключевые слова. Мудл, система дистанционного обучения, SQL-сервер, SQL-клиент, онлайн-курс, геймификация образования, LTI-приложения.

Введение и постановка задачи. Развитие дистанционного обучения в настоящее время является важной проблемой не только в России. В современном мире, охваченном информационными технологиями, уже сложно представить себе жизнь без электронного и дистанционного обучения. Особенно актуальной проблема становится при различного рода чрезвычайных ситуациях, когда посещать очные занятия слушателям не рекомендуется, либо вовсе запрещается.

Дистанционное обучение – это получение знаний или навыков в определённой сфере при помощи интернета, либо других информационных технологий. В процессе дистанционного обучения могут использоваться системы управления обучением (СДО), которые помогают организовать массовое непрерывное самообучение, массовый обмен информацией.

Ещё одно важное направление в современном образовании – это практико-ориентированное обучение. Такое обучение необходимо, т.к. далеко не всегда изучив теорию можно стать специалистом в какой-либо отрасли, а особенно сфере IT.

База данных (БД) — это организованная структура, предназначенная для хранения, изменения и обработки взаимосвязанной информации, преимущественно больших объемов. В настоящее время базы данных активно используются при разработке многих программных приложений, поэтому их изучение является одним из важнейших направлений IT-образования.

Наиболее популярной моделью данных при проектировании БД сегодня является реляционная модель. В такой БД данные хранятся в таблицах с предопределёнными связями между ними. Извлечение и обработка данных в них чаще всего производится посредством SQL-запросов. Язык SQL – это декларативный язык, используемый в реляционных системах управления базами данных (СУБД) для создания структуры базы данных, добавления, изменения, а также манипулирования данными.

Таким образом, изучение языка SQL на практике считается важнейшим звеном в подготовке IT-специалиста. А разработка прикладных электронных учебных курсов по изучению БД, позволяющих объединять в себе теоретический базис и практическую составляющую, является актуальной и важной проблемой современного образования.

В процессе работы в дистанционном формате преподаватель, реализующий дисциплину «Базы данных», сталкивается с проблемами, связанными с отсутствием или недостаточностью средств для контроля процесса обучения, а тем самым и невозможностью оценить реальные практические навыки обучаемого.

Электронный учебный курс для изучения баз данных, разработанный в СДО, должен содержать инструменты, позволяющие преподавателю разрабатывать задания по формированию SQL-запросов, а слушателю их реализовывать непосредственно в электронном курсе. Этот аспект является крайне значимым в связи с тем, что каждое такое задание должно быть оценено, а ведомость - храниться в журнале оценок курса. Также немаловажным являются трудозатраты преподавателя или тьютора по проверке подобных практических работ, что особенно критично при массовом обучении на подобном курсе.

Таким образом, для дистанционного курса необходимо наличие инструментария, позволяющего интегрировать внешнее приложения, например, MySQL, в электронный учебный курс и автоматически формировать оценки в журнал оценок СДО.

Основная цель данного инструмента – формирование умений и закрепление навыков написания SQL-запросов у студентов в рамках изучения дисциплины «Базы данных». Он должен содержать, как минимум, следующие элементы:

1. создание и редактирования заданий;
2. описание задания;
3. интерфейс, имитирующий консольный MySQL-клиент с подключением к реальному MySQL-серверу и возможностью отправки запросов и получения ответа от сервера;
4. систему автоматической проверки правильности выполнения задания и формирования оценки в СДО;

5. просмотр выполненных студентами заданий с отслеживанием этапов выполнения.

При такой постановке задачи необходимо провести обзор уже существующих решений в области электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, используемых для разработки электронных учебных курсов по подготовке IT-специалистов.

Обзор и анализ платформ дистанционного обучения. Обзор включает русскоязычные сервисы с удобным интерфейсом и простой настройкой. По большей мере это универсальные платформы для разных специализаций с расширенными возможностями: интеграциями, разграничением прав доступа, геймификацией, вебинарами, тестами и выдачей сертификатов. Для анализа состояния вопроса в сфере дистанционного обучения были рассмотрены электронные курсы по изучению баз данных на самых популярных платформах дистанционного образования. На некоторых из рассмотренных ресурсов курсы необходимой тематики вообще отсутствовали, к таким относится, например, платформа «Лекториум» [1].

1. Платформа «Открытое образование» [2]

Был рассмотрен дистанционный курс «Базы данных» [3]. Выполнение практических задач в рамках курса предполагает установку на компьютер пользователя и использование СУБД MySQL. Проверка таких работ не автоматизирована и осуществляется исключительно преподавателем. В курсе также присутствуют тестовые задания, основанные на простейшем типе вопросов с возможностью выбора верного варианта ответа.

2. Платформа «ИНТУИТ» [4]

Данный ресурс содержит большое количество обучающих курсов для изучения реляционных баз данных. Например, «SQL и процедурно-ориентированные языки» [5], «Основы SQL» [6], «Введение в реляционные базы данных» [7], «Введение в модель данных SQL» [8], «Основы работы с базами данных» [9]. Все перечисленные курсы содержат подробнейший теоретический контент по заданной теме, а в качестве практических заданий используется тестирование.

3. Платформа «Stepik» [10]

Эта платформа также изобилует электронными курсами по изучению баз данных. Самыми популярными из них являются: «Введение в базы данных» [11], «Базы данных» [12], «Свободное погружение в СУБД» [13]. Данные электронные курсы, как и все ранее рассмотренные также содержат только лекции и тесты. Однако, на данной платформе есть и более интересные с прикладной точки зрения курсы: «Интерактивный тренажер по SQL» [14], «Основы SQL» [15]. Они содержат онлайн-тренажёры, в которых можно непосредственно формировать SQL-запросы. Запросы автоматически выполняются на MySQL-сервере в изолированной базе данных. Их результаты автоматически проверяются и фиксируются

результат. Но при более детальном исследовании удалось обнаружить и некоторые недостатки в подобных практикумах.

Например, если в курсе «Интерактивный тренажер по SQL» при создании таблицы указать её название в одиночных кавычках ('), как это принято в SQL-запросах, то при проверке задания система выдает ошибку (Рис.1).



Рис.1 – Сообщение об ошибке SQL-запроса на создание таблицы

А если указать аналогичный запрос без кавычек (что является неверным с точки зрения синтаксиса), то ошибка не фиксируется (Рис.2) и пользователь получает сообщение о положительном результате выполнения задания. Такой подход для прикладного изучения баз данных может немного дезориентировать пользователя и таким образом понизить его вовлеченность в процесс обучения.

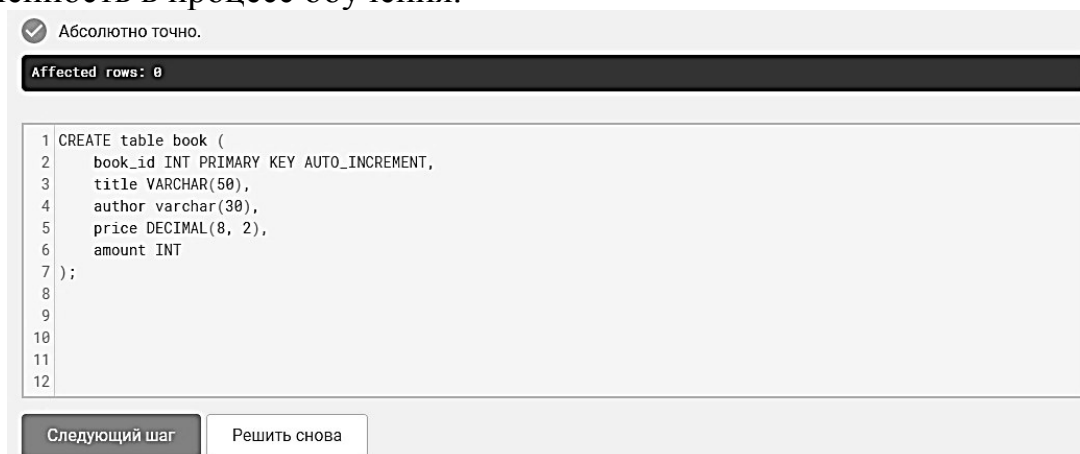


Рис.2 – Сообщение о «правильном» выполнении SQL-запроса на создание таблицы

Таким образом, можно сделать вывод, что среди всего многообразия курсов, представленных на русскоязычных платформах дистанционного

обучения, существует лишь небольшое количество электронных курсов по изучению баз данных, которые содержат в себе тренажёры для написания и проверки на практике SQL-запросов. Таких курсов становится ещё меньше, если рассматривать только бесплатные ресурсы.

СДО Moodle, как механизм для создания прикладного электронного курса. Система дистанционного обучения (СДО) – это информационная система, предназначенная для планирования, проведения и управления различными учебными мероприятиями в организации, включая обучение, проводимое как в очной, так и в дистанционной форме.

Такие системы обеспечивают возможность реализации массовых открытых дистанционных курсов. Благодаря им можно увеличить скорость передачу информации обучающемуся (в т.ч. через асинхронное обучение), углубить его знания и привить дополнительные навыки за то же время. Одновременно с совершенствованием технических средств изменяются и технологии обучения. Распространяются его новые формы – проблемно-ориентированное или практико-ориентированное обучение [16], всё большую востребованность приобретают деловые игры, происходит геймификация образования, т. е. в процесс обучения вводятся игровые приёмы и элементы. Сейчас спрос на образовательные услуги диктует необходимость обучения на реальных примерах, возможность обучаться быстро, понятно и частично (или полностью) дистанционно. Обучение должно предусматривать многоуровневую систему, которая будет мотивировать обучающегося приобретать новые и развивать существующие компетенции.

Одной из наиболее популярных систем с открытым исходным кодом является Moodle – система управления обучением (СДО), которая ориентирована, прежде всего, на создание взаимодействия между преподавателем и студентами [17]. Основное её предназначение – это организация дистанционного обучения. Систему Moodle можно использовать для сглаживания эффекта неравномерности активности обучающихся в течение семестра. Для этого учебная дисциплина разделяется на маленькие этапы, которые соответствуют балльно-рейтинговой системе, и работа студента оценивается в конце каждого модуля. Необходимо также отметить важность дифференцированной системы оценивания знаний обучающихся, чтобы лишь в исключительных случаях студент не смог перейти к изучению следующего модуля. При невыполнении этого принципа нагрузка на преподавателя резко возрастёт за счёт того, что он будет вынужден готовить отстающих студентов до необходимого уровня, уделяя им дополнительное время [18].

Moodle (расшифровывается как английский акроним Module Object-Oriented Dynamic Learning Environment – Модульная объектно-ориентированная динамическая учебная среда) – это свободная система управления обучением (Learning Management System, или виртуальное

учебное пространство – Virtual Learning Environment), распространяющаяся по условно-бесплатной лицензии GNU General Public License [19].

Система Moodle была создана Мартином Дуджиамасом в Технологическом университете г. Перта (Австралия). С самого начала Moodle задумывалась как открытое программное обеспечение, доступное всем, бесплатное, простое в установке для максимального количества пользователей. Все желающие могут помочь в разработке и внести в среду Moodle свои дополнения (аддоны или плагины) и обмениваться информацией об использовании Moodle через форумы и сообщества.

Система Moodle может обеспечивать:

1. выбор удобного времени и места для обучения, как для преподавателя, так и для студента;
2. прочное усвоение знаний;
3. взаимодействие преподавателя и студента по мере необходимости;
4. индивидуализацию обучения;
5. экономию денег и времени.

Часто пользователям нравятся модули курса (такие как форумы, базы данных и вики) из-за возможности создания практичной среды для обмена информацией по изучаемым темам, в то время как другие предпочитают использовать Moodle для предоставления различной информации для студентов (например, стандарт пакетов SCORM) и оценки результатов обучения с использованием заданий или тестов.

Рассмотрим возможное использование СДО Moodle для обучения студентов дисциплинам информационно-технологической направленности на примере одной из них. При проектировании учебного курса по дисциплине «Базы данных» в СДО Moodle можно использовать следующий набор элементов: «гlossарий», «задание», «тест», «форум», «ресурс», «групповой проект», а также возможности для интеграции SCORM-пакетов или упражнений, разработанных в среде H5P. Но ни один из приведённых инструментов не позволяет получить практические навыки написания SQL-запросов. Средств H5P недостаточно для реализации приложения для работы с сервером MySQL, а у SCORM-пакетов есть существенные недостатки.

В дистанционных курсах можно использовать ссылки на сторонние веб-приложения с любыми интерактивными упражнениями, однако в этом случае пользователю необходимо будет самостоятельно регистрироваться и авторизовываться на внешнем ресурсе, а преподавателю вручную переносить оценки из него в СДО Moodle. Для решения этой проблемы в Moodle существует элемент курса «Внешний инструмент» (External tool), который позволяет использовать в учебном процессе LTI-совместимые приложения.

LTI (Learning Tools Interoperability) – это стандарт, разработанный Глобальным учебным консорциумом IMS, который описывает способы

взаимодействия между различными учебными приложениями и платформами обучения, такими как Moodle [20]. Он позволяет пользователю открывать внешние приложения без необходимости регистрации или авторизации, а также сохранять оценку по результатам выполнения упражнения в систему дистанционного обучения.

В стандарте есть разделение приложений на Поставщиков (Tool Provider) и Потребителей (Tool Consumer). Поставщики предоставляют обучающий контент для Потребителей, например, лекции, лабораторные работы и т. п. А также Поставщики могут отправлять оценку за усвоенный материал Потребителям.

Разрабатываемое приложение будет являться Поставщиком, а система дистанционного обучения Moodle – Потребителем.

В версии стандарта LTI v1.3 взаимодействие происходит с помощью технологий OAuth2 и JSON Web Tokens [20].

По сравнению со SCORM-пакетами у LTI-приложений есть ряд преимуществ:

1. Взаимодействие с внешним сервером без необходимости явной аутентификации. Таким образом, у сервера есть достоверная информация о пользователе, который запускает приложение. При использовании SCORM-пакетов эта информация может быть недостоверной из-за вмешательства пользователя.

2. Выполнение приложения на сервере. Выполнение SCORM-пакетов происходит полностью на стороне пользователя, из-за чего в него можно внести изменение и добиться любого незапланированного поведения. В LTI-приложениях участвует сервер и клиент, благодаря чему часть приложения защищена от модификаций.

3. Формирование оценок на сервере. Выполнение SCORM-пакетов происходит на пользовательском устройстве. Соответственно, формирование и отправка оценок также происходят на устройстве пользователя и могут быть легко подделаны. При использовании LTI-приложений оценки формируются на сервере, подписываются с помощью технологии OAuth с использованием секретного ключа и отправляются в систему дистанционного обучения. Следовательно, без знания секретного ключа пользователь не сможет подделать свою оценку.

Таким образом, можно сделать вывод, что реализовать модуль для отработки на практике навыков написания SQL-запросов к базе данных лучше всего используя технологию LTI.

Особенности разработки внешнего инструмента для СДО Moodle.

В версии стандарта LTI v1.3 взаимодействие происходит с помощью технологий OAuth2 и JSON Web Tokens [20].

В начале реализации LTI-совместимого приложения у разработчика есть 2 пути:

- 1) найти и использовать готовую библиотеку;

2) реализовать стандарты LTI самостоятельно.

У каждого из этих подходов есть свои достоинства и недостатки. Так, например, чтобы использовать уже существующую библиотеку, необходимо её найти и убедиться, что она корректно работает и соответствует стандартам. Кроме этого, библиотека может не поддерживаться разработчиком, т. е. у неё не будет обновлений на новые версии стандарта и исправлений ошибок. Во втором случае разработчику необходимо будет потратить время на изучение и реализацию спецификаций LTI.

Для реализации приложения была найдена и использована подходящая библиотека – `ims-lti`. Также, в ходе поиска были проанализированы 19 других открытых npm-пакетов.

У данных библиотек были выявлены следующие недостатки:

1. `cacel`, `cacel-lti`, `cacel-grade-passback` – рассчитаны на использование вместе с СДО Canvas, могут отличаться некоторые нюансы работы;
2. `ltijs`, `lti-node-library`, `express-ims-lti` – возможно использовать только с фреймворком `Express.js`;
3. `passport-lti`, `papers-lti` – возможно использовать только с фреймворком `Passport`;
4. `lti` – не реализован Tool Provider, только Consumer;
5. `@crystaldelta/ims-lti`, `ims-lti-updated`, `@flat/ims-lti`, `@dinoboff/ims-lti`, `@smarterservices/ims-lti` – форки библиотеки `ims-lti` с неизвестными, либо слабо задокументированными изменениями;
6. `lib-lti`, `ims-lti-hapijs`, `@node-lti/oauth`, `ltisaber`, `@firebase-lti/core` – нет описания, документации проекта.

У библиотеки `ims-lti` также есть недостатки. Например, она не позволяет использовать несколько Поставщиков “из коробки”. Для реализации такого функционала необходимо будет либо реализовывать его в составе приложения, либо дописывать библиотеку. Однако, данная библиотека содержит весь необходимый базовый функционал и не навязывает разработчику использование какого-то конкретного фреймворка.

В качестве примера было реализовано приложение на языке JavaScript на платформе NodeJS с использованием ExpressJS и `ims-lti`, которое при открытии в среде Moodle случайным образом генерирует новую оценку для текущего пользователя и сохраняет в систему дистанционного обучения. Язык JavaScript был выбран, поскольку является наиболее распространённым для платформы NodeJS и, при желании, код на JavaScript можно легко переписать на другие языки, такие как TypeScript, CoffeeScript и другие.

Для начала необходимо создать экземпляр класса `Provider` из библиотеки `ims-lti`. Также, библиотека основана на использовании callback'ов, поэтому все вызываемые функции библиотеки благодаря стандартной

util.promisify() [21] будут превращаться в функции, возвращающие обещания. Весь код написан с использованием асинхронного подхода с применением конструкций async/await. Данный подход позволяет улучшить читабельность исходного кода.

```
// создание Provider с заданными ключом и секретом
const provider = new lti.Provider(process.env.CONSUMER_KEY, process.env.CONSUMER_SECRET);
// получение асинхронной функции для валидации запроса запуска
const validateLaunch = promisify(provider.valid_request);
```

Рис.3 – Инициализация Provider

Для запуска внешнего инструмента используется Launch URL, по которому методом POST отправляется различная информация о Потребителе, курсе, текущей сессии и пользователе. Вся информация подписывается секретным ключом с помощью стандарта OAuth2.

```
// валидация параметров и подписи запроса
const isValid = await validateLaunch(req);
// ошибка 403 при неверном запросе
if (!isValid) return res.sendStatus(403);
// ошибка 400, если Tool Consumer не поддерживает сохранение оценок
if (!provider.outcome_service) return res.sendStatus(400);
```

Рис.4 – Обработка входящего запроса

При открытии приложения случайным образом генерируется новая оценка в диапазоне от 0 до 1 и отправляется в Moodle, заменяя собой предыдущую, если она была. Затем Moodle сохраняет эту оценку в журнале оценок.

```
// генерация новой оценки
const score = Math.random();
// получение асинхронной функции для отправки оценки в Tool Consumer
const sendReplaceResult = promisify(
  provider.outcome_service.send_replace_result.bind(provider.outcome_service)
);
// сохранение новой оценки в Tool Consumer
const success = await sendReplaceResult(score);
// ошибка 500, если сохранение оценки не удалось
if (!success) return res.sendStatus(500);
```

Рис.5 – Генерация и отправка новой оценки

После сохранения новой оценки пользователю выводится сообщение, содержащее его имя, с предложением проверить журнал оценок.

```
// получение имени пользователя
const userName = req.body.lis_person_name_given || "Студент";
// вывод текста пользователю
res.send(`${userName}, твоя новая оценка: ${score}. Проверь журнал оценок!`);
```

Рис.6 – Отправка сообщения в браузер пользователя

В рассмотренном приложении отсутствует механизм сессий, необходимый, если новая оценка становится известной не сразу после открытия приложения, а только после выполнения каких-либо действий пользователем, например, прохождения теста или выполнения лабораторной работы. Однако, данный функционал не включается в стандарт LTI и может быть реализован любым подходящим способом. Также, отправка пользователю приложения HTTP-кодов ошибок без какого-либо описания является плохой практикой для использования в реальном приложении.

После создания LTI-приложения преподаватель, разработчик курса или разработчик этого приложения может добавить его в один или несколько курсов.

Заключение. В данной работе проведен подробный обзор существующих решений по разработке прикладной части дистанционных курсов для изучения дисциплины «Базы данных». В ходе исследований установлено, что реализацию онлайн-тренажеров в электронных курсах, для отработки на практике навыков написания SQL-запросов к базе данных, целесообразно осуществлять в СДО Moodle, используя технологию LTI.

В связи с чем, принято решение о разработке следующих модулей для интеграции в электронный учебный курс «Базы данных» в СДО Moodle:

1. рабочий кабинет преподавателя – электронный элемент для создания и редактирования заданий по изучению SQL;
2. интерактивное упражнение – интерфейс, имитирующий консольный MySQL-клиент с подключением к реальному MySQL-серверу и возможностью отправки запросов и получения ответа от сервера;
3. система автоматической проверки правильности выполнения заданий и формирования оценки в СДО Moodle.

Библиографический список

1. Лекториум [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lektorium.tv>
2. Главная страница. Открытое образование [Электронный ресурс]. – URL: <https://openedu.ru>
3. Базы данных. Открытое образование [Электронный ресурс]. – URL: <https://openedu.ru/course/spbu/DTBS>
4. Бесплатное образование. Национальный открытый университет "ИНТУИТ" [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.intuit.ru>
5. SQL и процедурно-ориентированные языки. НОУ ИНТУИТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/4/4/info>
6. Основы SQL. НОУ ИНТУИТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/5/5/info>
7. Введение в реляционные базы данных. НОУ ИНТУИТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/74/74/info>

8. Введение в модель данных SQL. НОУ ИНТУИТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/75/75/info>
9. Основы работы с базами данных. НОУ ИНТУИТ [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/93/93/info>
10. Каталог. Stepik [Электронный ресурс]. – URL: <https://stepik.org/catalog>
11. Введение в базы данных. Stepik [Электронный ресурс]. – URL: <https://stepik.org/course/551/promo>
12. Базы данных. Stepik [Электронный ресурс]. – URL: <https://stepik.org/course/2614/promo>
13. Свободное погружение в СУБД. Stepik [Электронный ресурс]. – URL: <https://stepik.org/course/70710/promo>
14. Интерактивный тренажер по SQL. Stepik [Электронный ресурс]. – URL: <https://stepik.org/course/63054/promo>
15. Основы SQL. Stepik [Электронный ресурс]. – URL: <https://stepik.org/course/51562/promo>
16. Петегем В.В. Образование для инноваций. Применение передовой методики преподавания и обучения в ЮФУ / В.В. Петегем, Х. Каменски. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2009. – 120 с.
17. Система дистанционного обучения Moodle [Электронный ресурс]. – URL: <http://moodle.org>
18. Федяинова Н. В. Опыт разработки курса повышения квалификации «Организация проектной деятельности в начальной школе с использованием ИКТ» в системе дистанционного обучения «Moodle» / Н. В. Федяинова, И. С. Хирьянова. – Омский гос. пед. ун-т. – Электрон. текстовые дан. – URL: [http://ido.tsu.ru/other_res/pdf/1\(33\)_2009\(21-28\).pdf](http://ido.tsu.ru/other_res/pdf/1(33)_2009(21-28).pdf)
19. Голубев О. В. Электронный учебно-методический комплекс в СДО Moodle (на примере курса «Математика и информатика») / О. В. Голубев, О. Ю. Никифоров // IV Международная научнопрактическая конференция «Современные информационные технологии и ИТ-образование» (14–15 декабря 2009 г.). – М.: – С. 267–273.
20. Learning Tools Interoperability. IMS Global Learning Consortium [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.imsglobal.org/activity/learning-tools-interoperability>
21. Util. Node.js v12.16.1 Documentation [Электронный ресурс]. – URL: https://nodejs.org/dist/latest-12.x/docs/api/util.html#util_util_promisify_original

Bibliograficheskiy spisok

1. Lektorium [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.lektorium.tv>
2. Glavnaya stranica. Otkrytoe obrazovanie [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://openedu.ru>

3. Bazy dannyh. Otkrytoe obrazovanie [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://openedu.ru/course/spbu/DTBS>
4. Besplatnoe obrazovanie. Nacional'nyj otkrytyj universitet "INTUIT" [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.intuit.ru>
5. SQL i procedurno-orientirovannye yazyki. NOU INTUIT [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/4/4/info>
6. Osnovy SQL. NOU INTUIT [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/5/5/info>
7. Vvedenie v relyacionnye bazy dannyh. NOU INTUIT [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/74/74/info>
8. Vvedenie v model' dannyh SQL. NOU INTUIT [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/75/75/info>
9. Osnovy raboty s bazami dannyh. NOU INTUIT [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/93/93/info>
10. Katalog. Stepik [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://stepik.org/catalog>
11. Vvedenie v bazy dannyh. Stepik [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://stepik.org/course/551/promo>
12. Bazy dannyh. Stepik [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://stepik.org/course/2614/promo>
13. Svobodnoe pogruzhenie v SUBD. Stepik [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://stepik.org/course/70710/promo>
14. Interaktivnyj trenazher po SQL. Stepik [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://stepik.org/course/63054/promo>
15. Osnovy SQL. Stepik [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://stepik.org/course/51562/promo>
16. Petegem V.V. Obrazovanie dlya innovacij. Primenenie peredovoj metodiki prepodavaniya i obucheniya v YUFU / V.V. Petegem, H. Kamenski. – Rostov-na-Donu: Izd-vo YUFU, 2009. – 120 s.
17. Sistema distancionnogo obucheniya Moodle [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://moodle.org>
18. Fedyainova N. V. Opyt razrabotki kursa povysheniya kvalifikacii «Organizaciya proektnoj deyatel'nosti v nachal'noj shkole s ispol'zovaniem IKT» v sisteme distancionnogo obucheniya «Moodle» / N. V. Fedyainova, I. S. Hir'yanova. – Omskij gos. ped. un-t. – Elektron. tekstovye dan. – URL: [http://ido.tsu.ru/other_res/pdf/1\(33\)_2009\(21-28\).pdf](http://ido.tsu.ru/other_res/pdf/1(33)_2009(21-28).pdf)
19. Golubev O. V. Elektronnyj uchebno-metodicheskij kompleks v SDO Moodle (na primere kursa «Matematika i informatika») / O. V. Golubev, O. YU. Nikiforov // IV Mezhdunarodnaya nauchnoprakticheskaya konferenciya «Sovremennye informacionnye tekhnologii i IT-obrazovanie» (14– 15 dekabrya 2009 g.). – M.: – S. 267–273.
20. Learning Tools Interoperability. IMS Global Learning Consortium [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.imsglobal.org/activity/learning-tools-interoperability>

21. Util. Node.js v12.16.1 Documentation [Elektronnyj resurs]. – URL: https://nodejs.org/dist/latest-12.x/docs/api/util.html#util_util_promisify_original.

¹Ченгарь Ольга Васильевна, к.т.н., доцент, OVChengar@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

²Шевченко Виктория Игоревна, к.т.н., зав. кафедрой, VIShevchenko@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

³Малицкая Александра Александровна, ассистент, malitskaya@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

⁴Левченко Иван Валентинович, levchenko-2000@inbox.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

ANALYTICAL REVIEW OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE FIELD OF IMPLEMENTATION OF THE "DATABASE" DISCIPLINE IN REMOTE FORMAT

O.V. Chengar, V.I. Shevchenko, A.A. Malitskaia and I.V. Levchenko

This article provides an analytical review of technological solutions in the field of implementing technical disciplines in a remote format, which allow training an IT specialist to work with database management systems. The review includes Russian-language services: "open education", "Intuit", "Stepik". As a training tool for an online course on this topic, the author justifies the development of a software application integrated into the Moodle SDO, which would simulate an interface similar to a console MySQL client with a connection to a real MySQL server. The idea of implementing online simulators in e-courses, for practicing the skills of writing SQL queries to the database in LMS Moodle, using LTI technology, is proposed. This technique will allow the student to improve the skills of building SQL queries directly from the online course, and the teacher to monitor the learning process with minimal effort.

Key words: moodle, learning management system, SQL-server, SQL-client, online-course, education gamification, LTI-applications.

Chengar Olga Vasilievna, Ph.D., docent, OVChengar@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Shevchenko Viktoriya Igorevna, Ph.D., associate Professor, head of chair, VIShevchenko@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

*Malitskaia Aleksandra Aleksandrovna, Assistant, malitskaya@sevsu.ru,
Russia, Sevastopol, Sevastopol State University*

*Levchenko Ivan Valentinovich, student, levchenko-2000@inbox.ru, Russia,
Sevastopol, Sevastopol State University*

МЕТОД ПУТЕЙ, КАК МЕТОД АНАЛИЗА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ С ОТКЛЮЧЕНИЕМ И УПРЕЖДАЮЩИМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ КОМПОНЕНТА

Заморёнов М.В.¹, Копп В.Я.², Заморёнова Д.В.³, Федоренко С.Н.⁴

***Аннотация.** Построена модель контроля системы с отключением и упреждающим восстановлением компонента на период контроля с использованием метода путей. Проведено моделирование процесса функционирования такой системы. Выполнено сравнение результатов моделирования, полученных с использованием метода путей и теоремой о среднестационарном времени пребывания системы в подмножестве состояний.*

***Ключевые слова.** Полумарковская система, стационарное распределение, метод путей, скрытые отказы, средства контроля.*

При проектировании сложного технологического оборудования возникает задача расчета надежности и производительности оборудования с учетом различного вида отказов, в том числе скрытых отказов, то есть отказов, не обнаруживаемых визуально или штатными методами контроля и диагностирования, но выявляемых при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностики. Для уменьшения вероятностей возникновения скрытых отказов предлагается использовать системы с упреждающим восстановлением рабочего компонента.

В данной работе рассматривается задача повышения надежности оборудования за счет упреждающего восстановления по результатам проводимого контроля. При этом, естественно, возникают затраты на создание аппаратуры контроля и более частые восстановления, моменты проведения которых определяются заданным временем наработки. Отметим, что производительность аппаратуры контроля влияет на ее стоимость; параметрами оптимизации могут являться время наработки и время проведения контроля.

Как правило определение зависимости экономического эффекта и существующих потерь при известных затратах не вызывает сложностей и подробно рассмотрено в [1].

Основная сложность выбора данных параметров заключается в построении математической модели исследуемой системы, связывающей ее производительность с указанными параметрами.

Формализация постановки задачи. Рассматривается система S , состоящая из одного компонента, выполняющего определенные функции, и аппаратуры контроля его работоспособности. Система функционирует

следующим образом. В начальный момент времени компонент приступает к работе, контроль включен. ВБР компонента – СВ α с ФР $F(t) = P\{\alpha \leq t\}$ и ПР $f(t)$. Контроль проводится через случайное время δ с ФР $R(t) = P\{\delta \leq t\}$ и ПР $r(t)$. Отказ компонента обнаруживается только в результате проведения контроля (скрытый отказ), на время проведения контроля работа компонента приостанавливается. Длительность проведения контроля – СВ γ с ФР $V(t) = P\{\gamma \leq t\}$ и ПР $v(t)$. Если в результате проведения контроля установлено, что компонент работоспособен, но его суммарная наработка с момента последнего восстановления не меньше заданного уровня $\mu > 0$, то проводится упреждающее восстановление компонента.

В случае, когда суммарная наработка компонента меньше заданного уровня μ , компонент продолжает работу. Если в результате контроля обнаружен скрытый отказ компонента, то проводится его обычное восстановление; время упреждающего или обычного восстановления – СВ β с ФР $G(t) = P\{\beta \leq t\}$ и ПР $g(t)$. На период любого восстановления контроль приостанавливается, после восстановления все свойства компонента обновляются. Предполагается, что СВ α , β , δ , γ независимы и имеют конечные математические ожидания.

Необходимо отметить, что в литературе приводится модель такой системы [2], позволяющая получать стационарные характеристики системы. Однако при анализе сложных систем [3, 4], когда используется иерархический подход к построению моделей [5], такой информации о функционировании системы недостаточно, так как требуется информация о функциях распределения случайных величин, характеризующих функционирование такой системы.

Целью данной работы является построение полумарковской модели функционирования описанной системы, позволяющей определять искомые функции распределения методом путей [6].

Построение полумарковской модели. Функционирование системы S опишем ПМП $\xi(t)$ [7] с дискретно-непрерывным фазовым пространством состояний [8,9]. Введем следующее множество E полумарковских состояний системы:

$$E = \{111, 2\hat{1}0x, 211x, 2\hat{2}2, 101x, 2\hat{0}0, 222\}.$$

Расшифруем содержательный смысл кодов состояний:

111 – компонент восстановлен и приступил к работе, контроль включен;

$2\hat{1}0x$ – начался контроль, компонент работоспособен и отключен, суммарная наработка компонента с момента последнего его восстановления (без учета времени проведения контроля) равна $x > 0$;

211x – проведен контроль, работоспособный компонент продолжил работу, его суммарная наработка, равная $x > 0$, меньше заданного уровня μ ;

22̃2 – проведен контроль, компонент работоспособен, его суммарная наработка не меньше заданного уровня μ , началось упреждающее восстановление компонента, контроль приостановлен;

101x – наступил отказ компонента, до начала контроля осталось время $x > 0$;

20̂0 – начался контроль, компонент, находящийся в отказе, отключен;

222 – проведен контроль, обнаружен отказ и началось обычное восстановление компонента, контроль приостановлен.

Отметим, что в состояниях 21̂0x, 211x используется «время назад», а в состоянии 101x «время вперед».

Временная диаграмма и граф переходов системы [10] изображены на Рис.1,2 соответственно.

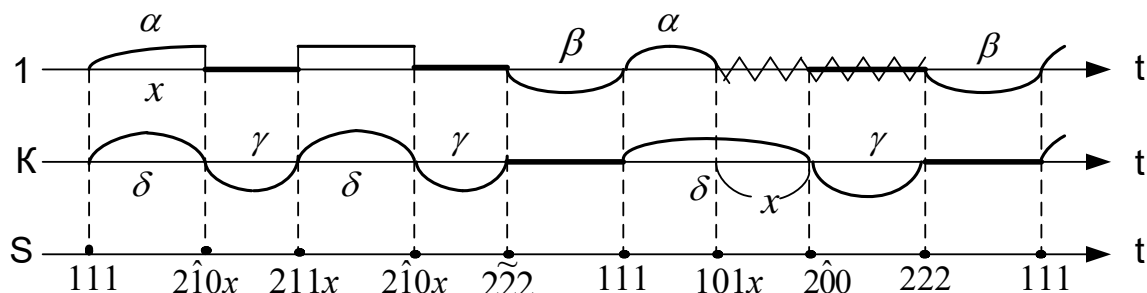


Рис.1 – Временная диаграмма функционирования системы

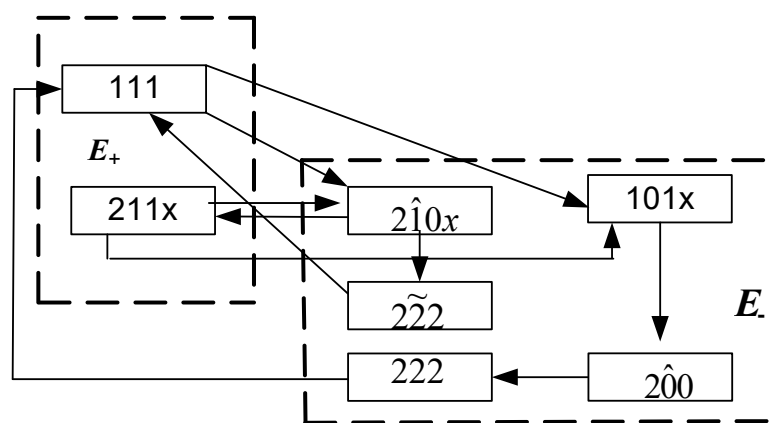


Рис.2 – Граф переходов системы

Приведем времена пребывания в состояниях системы, переходные вероятности ВЦМ и стационарное распределение ВЦМ из [2].

Времена пребывания в состояниях системы.

$$\theta_{211x} = \delta \wedge [\alpha - x]^+, \theta_{111} = \alpha \wedge \delta, \theta_{21̂0x} = \gamma, \\ \theta_{22̃2} = \beta, \theta_{101x} = x, \theta_{20̂0} = \gamma, \theta_{222} = \beta.,$$

Переходные вероятности ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$:

$$p_{111}^{2\hat{1}0dx} = P\{\alpha > \delta, \delta \in dx\} = \bar{F}(x)r(x)dx, \quad x > 0;$$

$$p_{111}^{10ldx} = P\{\delta - \alpha \in dx\} = \int_0^\infty r(x+t)f(t)dt dx, \quad x > 0;$$

$$p_{211x}^{2\hat{1}0dy} = P\{[\alpha - x]^+ > \delta, \delta \in dy - x\} = \frac{\bar{F}(y)r(y-x)}{\bar{F}(x)} dy, \quad 0 < x < \mu, y > x;$$

$$p_{211x}^{10ldy} = P\{\delta - [\alpha - x]^+ \in dy\} = \int_0^\infty \frac{f(x+t)}{\bar{F}(x)} r(y+t) dt dy, \quad 0 < x < \mu, y > 0;$$

$$P_{2\hat{1}0x}^{211x} = 1, \text{ если } 0 < x < \mu; \quad P_{2\hat{1}0x}^{\tilde{2}22} = 1, \text{ если } x \geq \mu;$$

$$P_{\tilde{2}22}^{111} = P_{101x}^{200} = P_{200}^{222} = P_{222}^{111} = 1.$$

Стационарное распределение ВЦМ.

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(111) = \rho_0, \\ \rho(2\hat{1}0x) = \rho(211x) = \rho_0 h_r(x) \bar{F}(x), \quad 0 < x < \mu, \\ \rho(2\hat{1}0x) = \rho_0 \left(r(x) + \int_0^\mu r(x-y) h_r(y) dy \right) \bar{F}(x), \quad x \geq \mu, \\ \rho(2\tilde{2}2) = \rho_0 \left(\int_\mu^\infty \bar{F}(x) r(x) dx + \int_\mu^\infty \bar{F}(x) dx \int_0^\mu r(x-y) h_r(y) dy \right), \\ \rho(101x) = \rho_0 \left(\int_0^\infty r(x+y) f(y) dy + \int_0^\mu h_r(y) dy \int_0^\infty f(y+t) r(x+t) dt \right), \\ \rho(2\hat{0}0) = \rho(222) = \rho_0 \left(\int_0^\infty \bar{R}(x) f(x) dx + \int_0^\infty \bar{R}(t) dt \int_0^\mu f(y+t) h_r(y) dy \right), \end{array} \right.$$

где $h_r(t) = \sum_{n=1}^\infty r^{*(n)}(t)$ — плотность функции восстановления

$H_r(t) = \sum_{n=1}^\infty R^{*(n)}(t)$ процесса восстановления, порожденного СВ δ ;

постоянная ρ_0 находится из условия нормировки.

В [11], при использовании алгоритма фазового укрупнения [12, 13], произведен переход от системы с дискретно-непрерывным фазовым пространством состояний к системе с дискретным фазовым пространством состояний, для чего определены следующие характеристики системы:

стационарное распределение вложенной цепи Маркова системы с дискретным фазовым пространством состояний.

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_{111} = \rho_0, \\ \hat{\rho}_{2\hat{1}0}^0 = \hat{\rho}_{211} = \rho_0 \int_0^\mu h_r(x) \bar{F}(x) dx, \quad 0 < x < \mu, \\ \hat{\rho}_{2\hat{1}0}^1 = \rho_0 \left\{ \int_\mu^\infty r(x) \bar{F}(x) dx + \int_\mu^\infty \int_0^\mu r(x-y) h_r(y) \bar{F}(x) dy dx \right\}, \quad x \geq \mu, \\ \rho_{2\tilde{2}2} = \rho_0 \left\{ \int_\mu^\infty \bar{F}(x) r(x) dx + \int_\mu^\infty \bar{F}(x) dx \int_0^\mu r(x-y) h_r(y) dy \right\}, \\ \hat{\rho}_{101} = \rho_0 \left\{ \int_0^\infty \bar{R}(y) f(y) dy + \int_0^\mu h_r(y) dy \int_0^\infty f(y+t) \bar{R}(t) dt \right\}, \\ \rho_{2\hat{0}0} = \rho_{222} = \rho_0 \left\{ \int_0^\infty \bar{R}(x) f(x) dx + \int_0^\infty \bar{R}(t) dt \int_0^\mu f(y+t) h_r(y) dy \right\}, \end{array} \right.$$

вероятности переходов системы с дискретным фазовым пространством состояний.

$$\begin{aligned} \hat{p}_{111}^{2\hat{1}0} &= \int_0^\infty \bar{F}(x) r(x) dx, \quad \hat{p}_{111}^{101} = \int_0^\infty \bar{R}(t) f(t) dt, \\ \hat{p}_{211}^{2\hat{1}0} &= \frac{\int_0^\infty \int_x^\infty \bar{F}(y) r(y-x) h_r(x) dy dx}{\int_0^\infty \bar{F}(x) h_r(x) dx}, \quad \hat{p}_{211}^{101} = \frac{\int_0^\infty \int_x^\infty \bar{R}(y) f(x+y) h_r(x) dy dx}{\int_0^\infty \bar{F}(x) h_r(x) dx}, \\ P_{2\hat{1}0}^{211} &= \frac{\hat{\rho}_{2\hat{1}0}^0}{\hat{\rho}_{2\hat{1}0}^0 + \hat{\rho}_{2\hat{1}0}^1}, \quad P_{2\hat{1}0}^{2\tilde{2}2} = \frac{\hat{\rho}_{2\hat{1}0}^1}{\hat{\rho}_{2\hat{1}0}^0 + \hat{\rho}_{2\hat{1}0}^1}, \\ P_{2\tilde{2}2}^{111} &= P_{101}^{2\hat{0}0} = P_{2\hat{0}0}^{222} = P_{222}^{111} = 1. \end{aligned}$$

функции распределения времен пребывания в состояниях.

$$\bar{F}_{111}(t) = \bar{F}(t) \cdot \bar{R}(t); \quad F_{210} = V(t); \quad F_{2\hat{2}2}(t) = G(t); \quad F_{200} = V(t);$$

$$F_{222}(t) = V(t); \quad \hat{F}_{101}(t) = \frac{\int_0^\infty [R(t+x) - R(x)] f(x) dx}{\int_0^\infty [1 - R(x)] f(x) dx};$$

$$\hat{F}_{211}(t) = 1 - \bar{F}_x(t) \cdot \bar{R}(t),$$

$$\text{где } F_x(t) = \frac{\int_0^{\infty} [F(t+x) - F(x)] h_r(x) dx}{\int_0^{\infty} [1 - F(x)] h_r(x) dx}.$$

Граф системы с дискретным фазовым пространством состояний приведен на **Рис.3**.

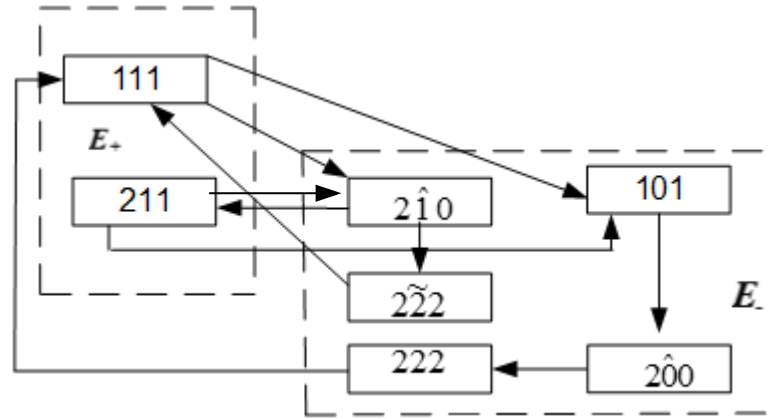


Рис.3 – Граф системы с дискретным фазовым пространством состояний

Выделим пути перехода системы из подмножества E_+ в подмножество E_- и обратно.

Для подмножества E_+ :

$$P_1^+ = \{S_{111}\}; P_2^+ = \{S_{211}\}.$$

Для подмножества E_- :

$$P_1^- = \{S_{101}, S_{200}, S_{222}\}; P_2^- = \{S_{210}\}; P_3^- = \{S_{210}, S_{222}\}.$$

Определим вероятности P_i попадания в состояния.

$$P_{111} = \frac{\rho_{111}}{\rho_{111} + \rho_{211}}; P_{211} = \frac{\rho_{211}}{\rho_{111} + \rho_{211}};$$

$$P_{101} = \frac{\rho_{101}}{\rho_{101} + \hat{\rho}_{210}^0 + \hat{\rho}_{210}^1}; P_{210} = \frac{\hat{\rho}_{210}^0 + \hat{\rho}_{210}^1}{\rho_{101} + \hat{\rho}_{210}^0 + \hat{\rho}_{210}^1};$$

В соответствии с теоремой о полной вероятности, определяются вероятности P_k^P реализации каждого из путей.

Для подмножества E_+ :

$$P_1^+ = P_{111}; P_2^+ = P_{211}.$$

Для подмножества E_- :

$$P_1^- = P_{101}; P_2^- = P_{210} \cdot P_{210}^{211}; P_2^- = P_{210} \cdot P_{210}^{222}.$$

Находим ФР времен пребывания системы на каждом из путей.

Для подмножества E_+ :

$$F_1^+(t) = F_{111}(t); F_2^+(t) = F_{211}(t).$$

Для подмножества E_- :

$$F_1^-(t) = F_{101}(t) * F_{200}(t) * F_{222}(t); F_2^-(t) = F_{210}(t);$$

$$F_3^-(t) = F_{210}(t) * F_{222}(t),$$

где $*$ – знак операции свертки.

Находим ФР времени пребывания в подмножествах вне зависимости от начального состояния.

Для подмножества E_+ :

$$F_{rez}^+(t) = P_1^+ \cdot F_1^+(t) + P_2^+ \cdot F_2^+(t).$$

Для подмножества E_- :

$$F_{rez}^-(t) = P_1^- \cdot F_1^-(t) + P_2^- \cdot F_2^-(t) + P_3^- \cdot F_3^-(t).$$

Исходными данными для моделирования служат ФР $F(t)$, $R(t)$, $V(t)$ и $G(t)$, распределенные по обобщенному закону Эрланга второго порядка с параметрами $\lambda_1^F = 0.022 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2^F = 0.0667 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_1^R = 0.083 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2^R = 0.25 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_1^V = 6.67 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2^V = 20.0 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_1^G = 2.67 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2^G = 8.0 \text{ ч}^{-1}$ соответственно.

Результаты моделирования приведены на **Рис.4**.

Также производилось сравнение математических ожиданий времен пребывания системы в подмножествах, найденных по полученным выше ФР и по теореме о стационарном времени пребывания системы в подмножестве состояний, приведенной в [14]:

по теореме:

$$T_+ = 14.25086 \text{ ч}; T_- = 2.331128 \text{ ч};$$

методом путей:

$$T_+ = 14.25086 \text{ ч}; T_- = 2.331128 \text{ ч}.$$

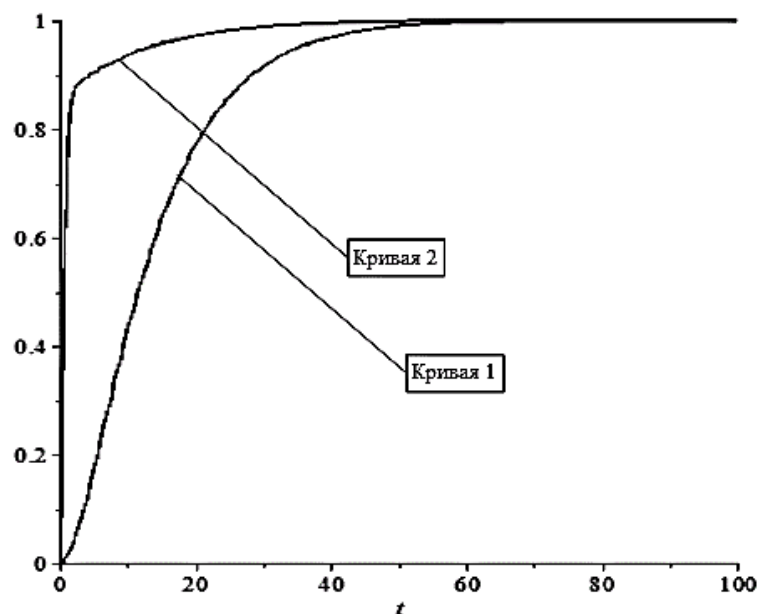


Рис.4 – Результаты моделирования методом путей (кривая 1 – ФР времени пребывания системы в подмножестве работоспособных состояний, кривая 2 – неработоспособных).

Полученные результаты показали расхождение в 97 знаке после запятой, что говорит о точности примененного метода моделирования и правильности построения модели.

В дальнейшем планируется использовать метод путей для решения ряда других задач, связанных с функционированием информационных и производственных систем.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-01-00704.

Библиографический список

1. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных производственных систем / В.Я.Копп. – Севастополь: СевНТУ, 2012 – 700 с.
2. Obzherin Yu.E. Semi-Markovian Model of Control of Restorable System with Latent Failures / Yu.E. Obzherin, A.I. Peschansky, Ye.G. Boyko // Applied Mathematics, Vol.2, No3, 2011. – pp. 383–388.
3. Obzherin Yu.E. Semi-Markov Models. Control of Restorable Systems with Latent Failures / Yu.E. Obzherin, E.G Boyko. – USA, Elsevier, Academic Press, 2015. – 214 p.
4. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных линий / В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – 240 с.
5. Копп В.Я. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием / В.Я. Копп,

- Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2000. – 284 с.
6. Заморёнов М.В. Моделирование процесса функционирования обслуживающего устройства с обесценивающими отказами методом путей / М.В. Заморёнов, В.Я. Копп, Д.В. Заморёнова, Ю.Л. Явкун // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. №4, 2016. – С. 225–236.
7. Королук В.С. Стохастические модели систем / В.С. Королук. – Киев: Наук. думка, 1989. – 208 с.
8. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Пер. с нем. / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
9. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input / A.I. Peschansky. – Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. – 138 p.
10. Райншке К. Оценка надежности систем с использованием графов / К. Райншке, И.А. Ушаков. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
11. Заморёнов М.В. Модель контроля системы с отключением и упреждающим восстановлением компонента / М.В. Заморёнов, В.Я. Копп, Д.В. Заморёнова, С.Н. Федоренко // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 11-1, 2017. – С. 298–308.
12. Королук В.С. Суперпозиция процессов марковского восстановления / В.С. Королук // Кибернетика, №4, 1981 – С. 121–124.
13. Королук В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – К.: Наук. Думка, 1976. – 181 с.
14. Королук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – Киев: Наук. думка, 1982. – 236 с.

Bibliograficheskij spisok

1. Kopp V.YA. Modelirovanie avtomatizirovannyh proizvodstvennyh sistem / V.YA.Kopp. – Sevastopol': SevNTU, 2012 – 700 s.
2. Obzherin Yu.E. Semi-Markovian Model of Control of Restorable System with Latent Failures / Yu.E. Obzherin, A.I. Peschansky, Ye.G. Boyko // Applied Mathematics, Vol.2, No3, 2011. – pp. 383–388.
3. Obzherin Yu.E. Semi-Markov Models. Control of Restorable Systems with Latent Failures / Yu.E. Obzherin, E.G Boyko. – USA, Elsevier, Academic Press, 2015. – 214 p.
4. Kopp V.YA. Modelirovanie avtomatizirovannyh linij / V.YA. Kopp, YU.E. Obzherin, A.I. Peschanskij. – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2006. – 240 s.

5. Kopp V.YA. Stohasticheskie modeli avtomatizirovannyh proizvodstvennyh sistem s vremennym rezervirovaniem / V.YA. Kopp, YU.E. Obzherin, A.I. Peschanskij. – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2000. – 284 s.
6. Zamoryonov M.V. Modelirovanie processa funkcionirovaniya obsluzhivayushchego ustrojstva s obescenivayushchimi otkazami metodom putej / M.V. Zamoryonov, V.YA. Kopp, D.V. Zamoryonova, YU.L. YAvkun // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. №4, 2016. – S. 225–236.
7. Korolyuk V.S. Stohasticheskie modeli sistem / V.S. Korolyuk. – Kiev: Nauk. dumka, 1989. – 208 s.
8. Bajhel't F. Nadezhnost' i tekhnicheskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod. Per. s nem. / F. Bajhel't, P. Franken. – M.: Radio i svyaz', 1988. – 392 s.
9. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input / A.I. Peschansky. – Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. – 138 p.
10. Rajnshke K. Ocenka nadezhnosti sistem s ispol'zovaniem grafov / K. Rajnshke, I.A. Ushakov. – M.: Radio i svyaz', 1988. – 208 s.
11. Zamoryonov M.V. Model' kontrolya sistemy s otklyucheniem i uprezhdayushchim vosstanovleniem komponenta / M.V. Zamoryonov, V.YA. Kopp, D.V. Zamoryonova, S.N. Fedorenko // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 11-1, 2017. – S. 298–308.
12. Korolyuk V.S. Superpoziciya processov markovskogo vosstanovleniya / V.S. Korolyuk // Kibernetika, №4, 1981 – S. 121–124.
13. Korolyuk V.S. Polumarkovskie processy i ih prilozheniya / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin. – K.: Nauk. Dumka, 1976. – 181 s.
14. Korolyuk V.S. Processy markovskogo vosstanovleniya v zadachah nadezhnosti sistem // V.S. Korolyuk, A.F. Turbin. – Kiev: Nauk. dumka, 1982. – 236 s.

¹*Заморёнов Михаил Вадимович, к.т.н., доцент, zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастопольский государственный университет,*

²*Копп Вадим Яковлевич, д.т.н., профессор, v_kopp@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,*

³*Заморёнова Дарья Викторовна, к.т.н., доцент, zamik@ukr.net, Россия, Севастопольский государственный университет,*

⁴*Федоренко Сергей Николаевич, старший преподаватель, sergey.fedor@mail.ru, Россия, Севастопольский государственный университет*

**METHOD OF WAYS AS A METHOD OF ANALYSIS OF THE
FUNCTIONING OF THE CONTROL SYSTEM WITH DISCONNECTING AND
PREVENTIVE RECOVERY OF THE COMPONENT**

M.V. Zamoryonov, V.Ya. Kopp, D.V. Zamoryonova, S.N. Fedorenko

In this paper, a model is constructed for controlling the system with shutdown and pre-recovery recovery of the component for the monitoring period using the method of paths. The process of functioning of such a system is simulated. Comparison of modeling results obtained using the trajectory method and the theorem on the average stationary time of the system stay in a subset of states is compared.

Keywords: semi-Markov system, stationary distribution, method of paths, hidden failures, means of control.

Zamoryonov Mikhail Vadimovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, zamoryonoff@gmail.com, Russia, Sevastopol National University

Kopp Vadim Yakovlevich, Doctor of Technical Sciences, professor, v_kopp@mail.ru, Russia, Sevastopol National University,

Zamoryonova Darya Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, associate professor, zamik@ukr.net, Russia, Sevastopol National University,

Fedorenko Sergey Nikolaevich, Senior Lecturer, sergey.fedor@mail.ru, Russia, Sevastopol National University.

ЭМПИРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

Осипов К.Н.

***Аннотация.** Предлагается подход к построению эмпирических моделей сложных технических объектов и систем с учетом структурных изменений в измерительной информации. Моделирование базируется на использовании современных методов стохастического моделирования нестационарных процессов по результатам наблюдений за объектом.*

***Ключевые слова.** Моделирование, диагностика, анализ временных рядов.*

Результатом анализа и прогнозирования технических состояний сложных технических объектов и систем является решение относительно наличия у объектов требуемых свойств, обеспечивающих их пригодность к дальнейшему применению и позволяющее оценить правильность выполнения заданных функций. При этом достижение технического результата предполагает наличие одной или нескольких моделей объектов, которые зависят от свойств объектов, целевого содержания оценки, прогнозирования и условий оценивания [1,2,3].

Существующий опыт, накопленный отечественными исследователями в области технической диагностики и технического контроля, свидетельствует о том, что в ходе эксплуатации при оценке технических состояний наряду с полными и высокоточными, многофункциональными математическими моделями, как правило, описываемыми системами нелинейных дифференциальных уравнений, целесообразно использовать специализированные и упрощенные модели, предъявляющие меньшие требования к вычислительным ресурсам и обеспечивающие высокое быстродействие [4-7], что позволяет получить необходимые результаты в условиях ограничений по срокам испытаний, а также материальные, энергетические и трудовые ресурсы.

Целью данной работы является разработка подхода к эмпирическому моделированию технических объектов и систем по результатам измерения диагностических параметров с учетом структурных изменений.

В терминах технической диагностики состояние изделий принято оценивать по результатам измерения параметров, функционально зависящих от параметров, непосредственно характеризующих качество изготовления и сборки изделия. При этом в ходе эксплуатации процессы изменения диагностических параметров могут иметь не только монотонные или унимодальные изменения, вызванные развитием постепенных

деградационных процессов, но и импульсные, например, вызванные резкой сменой режимов работы изделия или возникновением внезапных отказов. Поэтому для правильной спецификации эмпирической модели введем следующие типовые состояний объекта: 1. Импульсное изменение технического состояния: модель «разрушения»; 2. Медленное изменение технического состояния: модель «изменения скорости»; 3. Импульсное изменение технического состояния, повлекшее изменение скорости деградационных процессов: смешанная модель.

Для каждого из указанных случаев две различные ситуации изменения технического состояния учитывают различные вариации переходных процессов: инновационный переход (ИП), который предполагает, что изменение в техническом состоянии происходит постепенно, например, в следствии постепенного развития усталостных разрушений и аддитивный (импульсный) переходный процесс (АП), предполагающий, что изменение технического состояния происходит мгновенно. Примеры ИП-процессов, а также АП-процессов представлены на **Рис.1,2**.

Принимая во внимание, что измерительная информация в системе диагностирования представляет функцию двух разнородных величин: случайной величины ε и детерминированной составляющей, которая является функцией времени t и описывает тенденцию изменения субстанциональных характеристик ряда, для обобщенного аналитического описания процесса изменения технического состояния с учетом ИП и АП процессов примем следующую аддитивную модель:

$$Y_t = \mu_0 + \mu t + \gamma Y_{t-1} + \beta_1 \delta U(T_1)_{1,t} + \vartheta_1 \delta T(T_1)_{1,t} + b_1 \delta(T_1)_t + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_j \Delta Y_{i,t-j} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где Y - результаты измерения i -го диагностического параметра, μ_0 начальное пороговое значение i -го параметра, μ -- коэффициент линейного роста, β , ϑ , b , γ -- параметры уравнения, подлежащие оцениванию по результатам измерений.

Кроме этого, в уравнении (1) приняты следующие обозначения:

$$\delta U(T_1)_{1,t} = \begin{cases} 1, \forall t > T_1 \\ 0, \forall t \leq T_1 \end{cases},$$

фактор импульсного изменения технического состояния изделия (булева индикаторная функция, определяющая момент времени импульсного изменения технического состояния изделия),

$$\delta T(T_1)_{1,t} = \begin{cases} t - T_1, \forall t > T_1 \\ 0, \forall t \leq T_1 \end{cases},$$

фактор изменения скорости роста деградационных процессов.

$$\delta(T_1)_t = \begin{cases} 1, \forall t = T_1 + 1 \\ 0, \forall T_1 + 1 < t \leq T_1 \end{cases},$$

фактор импульсного изменения скорости роста деградационных процессов в момент времени $t+1$.

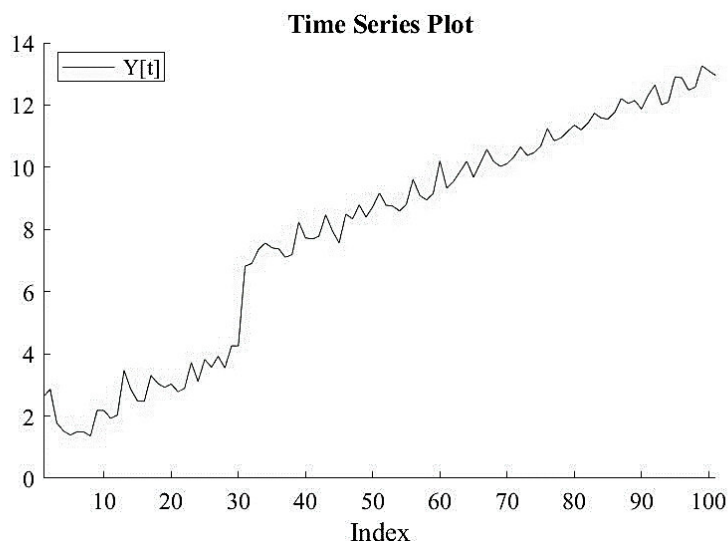


Рис.1 – Пример процесса с импульсным изменением технического состояния

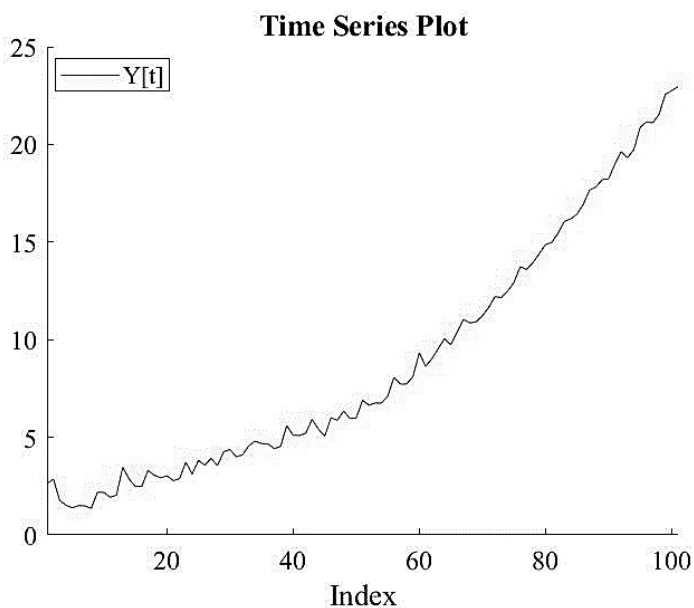


Рис.2 – Пример процесса с изменением скорости роста

Необходимо отметить, что если физика протекающих процессов не противоречит, то компоненты $\delta U(T_1)$ и $\delta T(T_1)$ могут быть исключены из рассмотрения в ходе структурной идентификации модели (1).

Результаты использования предлагаемого алгоритма для оценки и прогнозирования значений измерительных последовательностей диагностических параметров двигателя внутреннего сгорания (alfa-безразмерный коэффициент, определяющий качество топливно-воздушной смеси, g_e – средний эффективный удельный расход топлива, $g/Kвт\ ч$, M_k –

крутящий момент, H_m , H_v – безразмерный коэффициент коррекции момента впрыска топлива) представлены на Рис.3,4.

Вывод. Анализ результатов моделирования, представленных на Рис.3,4 в виде изменения ошибок моделирования в %, демонстрирует хорошую сходимость теоретических и практических результатов (максимальная ошибка моделирования не превышает 2.5 %), что может являться основанием для использования предлагаемого подхода в реальной эксплуатации.

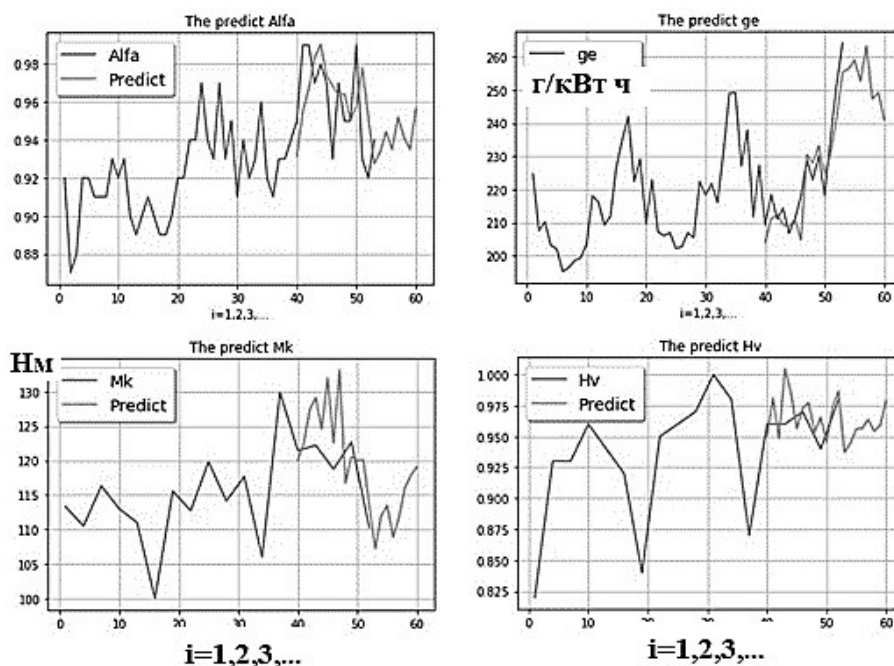


Рис.3 – Результат прогнозирования значений исследуемых параметров ДВС с использованием предлагаемого алгоритма

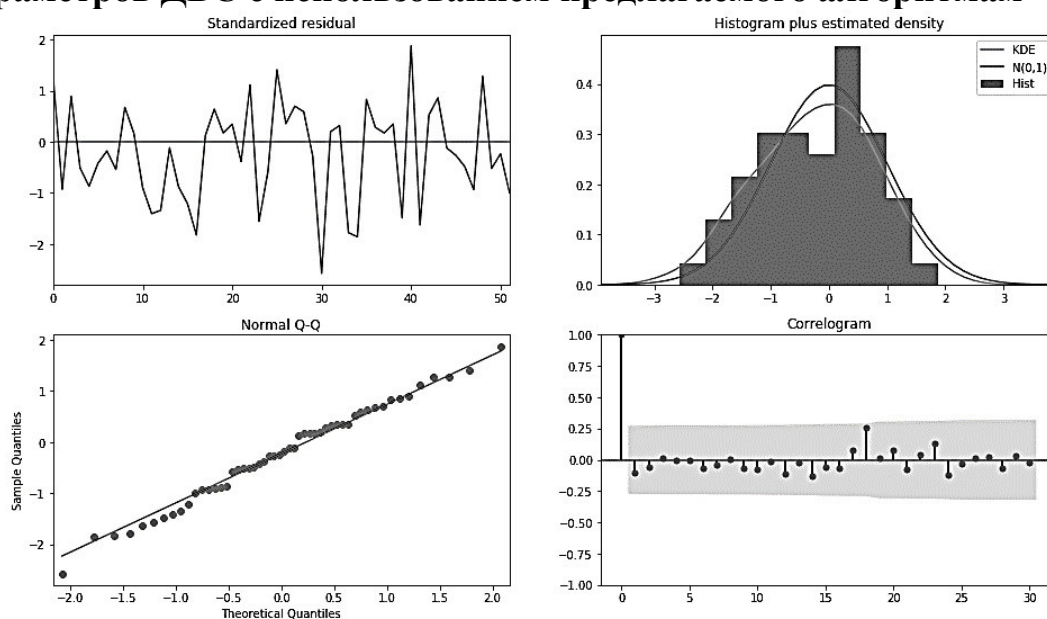


Рис.4 – Анализ ошибок оценивания

Основным преимуществом предлагаемого подхода является простота его реализации и небольшие требования к вычислительным ресурсам, что позволяет использовать предлагаемую методологию в штатных микропроцессорных системах.

Библиографический список

1. Шульгин А.Ф. Технологические газовоздушные системы стендов экспериментальной испытательной базы авиационных двигателей и энергетических установок./ А.Ф. Шульгин, Ю.И. Павлов, В.Г. Попов, В.В. Кулаков. – М.: МАТИ, 2009. – 384 с.
2. Лоскутов А.С., Григорьев А.Н., Кожин Д.В. Испытания ДВС: Учебное пособие. / А.С. Лоскутов, А.Н. Григорьев, Д.В. Кожин. – Йошкар-Ола: Марийский ГТУ, 2007. – С. 136.
3. Скатков А.В. Системное моделирование акторных взаимодействий для облачных сервисов / А.В. Скатков, В.И. Шевченко и [др.] / Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал» (Симферополь), 2018 г. – 420 с.
4. Анализ данных и процессов: учеб. пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод и др. 3-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2009. 512 с.
5. Голикова В.В. Идентификация стохастических объектов и процессов в автоматизированной системе производственных приемосдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания. дис. канд. тех. наук по специальности 05.13.07 / Голикова Виктория Викторовна. – Севастополь: СевНТУ – 2008 г. – 205 с.
6. Голикова В.В., Первухина Е.Л., Сопин П.К. Моделирование измерительных последовательностей диагностических параметров ДВС / В.В. Голикова, Е.Л. Первухина, П.К. Сопин // Двигатели внутреннего сгорания – №2 – 2012 г. С 114 – 117.
7. Pervukhina, E., Emmenegger J.-F. Adaptive time series filters obtained by minimization of the Kullback-Leibler divergence criterion // International Journal of Applied Mathematics, 2005. – Vol. 17. – № 1. – P.69-89.

Bibliograficheskiy spisok

1. SHul'gin A.F. Tekhnologicheskie gazovozdushnye sistemy stendov ehksperimental'noj ispytatel'noj bazy aviacionnyh dvigatelej i ehnergeticheskikh ustanovok./ A.F. SHul'gin, YU.I. Pavlov, V.G. Popov, V.V. Kulakov. – М.: МАТИ, 2009. – 384 с.
2. Loskutov A.S., Grigor'ev A.N., Kozhin D.V. Ispytaniya DVS: Ucheb-noe posobie. / A.S. Loskutov, A.N. Grigor'ev, D.V. Kozhin. – Josh-kar-Ola: Marijskij GTU, 2007. – S. 136.

3. Birger I. A. Tekhnicheskaya diagnostika. — M.: Mashinostroyeniye, 1978. — 240 s.
4. Skatkov A.V. Sistemnoye modelirovaniye aktornykh vzaimodeystviy dlya oblachnykh servisov / A.V. Skatkov, V.I. Shevchenko i [dr.] / Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo Tipografiya «Arial» (Simferopol'), 2018 g. — 420 s.
5. Analiz dannykh i processov: ucheb. posobie / A. A. Barsegyan, M. S. Kupriyanov, I. I. Holod i dr. 3-e izd., pererab. i dop. SPb.: BHV-Peterburg, 2009. 512 s.
6. Golikova V.V. Identifikatsiya stohasticheskikh ob"ektov i processov v avtomatizirovannoy sisteme proizvodstvennykh priemosdatochnykh ispytaniy dvigatelej vnutrennego sgoraniya. dis. kand. tekhn. nauk po special'nosti 05.13.07 / Golikova Viktoriya Viktorovna. — Sevastopol': SevNTU — 2008 g. — 205 s.
7. Golikova V.V., Modelirovaniye izmeritel'nykh posledovatel'nostej diagnosticheskikh parametrov DVS / V.V. Golikova, E.L. Pervukhina, P.K. Sopin // Dvigateli vnutrennego sgoraniya — №2 — 2012 g. S 114 — 117.
8. Pervukhina, E. Adaptive time series filters obtained by minimization of the Kullback-Leibler divergence criterion / E. Pervukhina, J.-F. Emmenegger // International Journal of Applied Mathematics, 2005. — Vol. 17. — № 1. — P.69-89.

Осипов Константин Николаевич, к.т.н., доцент,
 assistanttmm@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский
 государственный университет

EMPIRICAL MODELING OF TECHNICAL SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT STRUCTURAL CHANGES

K.N. Osipov

An approach to the construction of empirical models of complex technical objects and systems, taking into account structural changes in the measurement information, is proposed. The proposed approach is based on the use of modern methods of stochastic modeling of non-stationary processes based on the results of observations of the object

Keywords: statistical modeling, machines' state control, technical parameters

Osipov Konstantin Nikolaevich, candidate of technical science, docent, assistanttmm@mail.ru, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МОДУЛЯ С ВОЗВРАТОМ ПРОДУКЦИИ НА ПОВТОРНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Балакин А.И.¹, Балакина Н.А.², Волошина Н.А.³

***Аннотация.** Рассмотрена структура производственного модуля с возвратом продукции на повторное обслуживание, предложена его имитационная модель. Приведена программа на языке GPSS и ее блок схема. Представлены результаты моделирования и проведен их анализ, показавший возможности увеличения производительности производственного модуля при использовании возврата продукции на повторное обслуживание.*

***Ключевые слова.** Производственный модуль, повторное обслуживание, имитационная модель, производительность.*

Производственные модули с возвратом продукции на повторное обслуживание могут использоваться в тех случаях, когда технологический процесс требует повторной обработки изделия после контроля либо при обнаружении брака в отдельных точках. В последнем случае изделие направляется на определенные ячейки для исправления. Моделирование работы производственных систем позволяет решать основные задачи их проектирования, эксплуатации и исследования. Прогнозирование производительности и других технико-экономических показателей производственных систем на стадии их проектирования является наиболее важной задачей.

Производственный модуль представляет собой определенный набор оборудования предназначенного для выпуска продукции. В частности, он может входить в состав автоматизированных линий. Структуры автоматизированных линий с различными связями приводятся [1]. Построение моделей автоматизированных линий с возвратом продукции на повторное обслуживание рассмотрено в [2-10]. Однако остается ряд неисследованных вопросов, связанных с функционированием производственных модулей при возврате продукции на различные ячейки для исправления брака. Одним из методов моделирования является имитационное моделирование [11].

Целью работы является анализ функционирования производственного модуля с возвратом продукции на повторное обслуживание, на основе имитационного моделирования.

Рассмотрим производственный модуль (ПМ) с возвратом продукции на повторное обслуживание (ВППО), структурная схема которого изображена на **Рис.1**. Технологические ячейки обозначенные ТЯ1, ТЯ2, ТЯ3

являются основными ячейками для производства продукции на модуле. КСУ2, КСУ3 – контрольно-сортировочные устройства предназначенные для контроля соответствия продукции на выходе основных ячеек и передачи продукции для повторного обслуживания или на следующую технологическую операцию. Ячейка ТЯЗ' предназначена для исправления брака на выходе ячейки ТЯЗ (например, разборки неправильно собранного изделия).

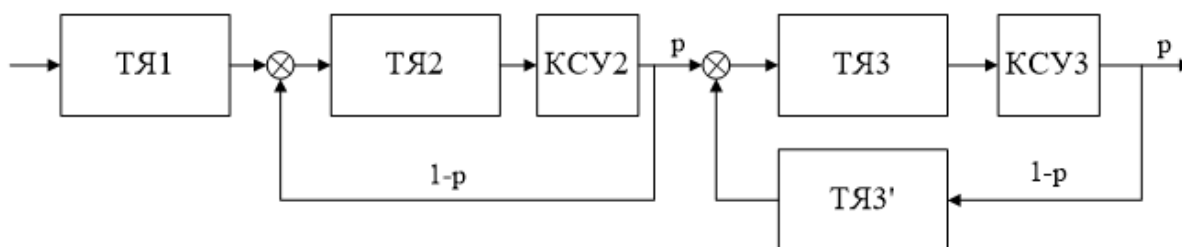


Рис.1 – Структурная схема ПМ с возвратом продукции на повторное обслуживание

Задача ставится следующим образом: по известным функциям распределения времени обслуживания продукции на технологических ячейках ТЯ1, ТЯ2, ТЯЗ, ТЯЗ' и контрольно-сортировочных устройств КСУ2, КСУ3 необходимо определить производительность ПМ с ВППО. Известно, что вероятность брака равна $(1-p)$, где p – вероятность получения на выходе технологической ячейки годной продукции. При моделировании указанной системы необходимо учитывать взаимные блокировки ячеек: при отказе любой из них другая прекращает работу.

Для определения производительности, как было сказано ранее, будем использовать имитационное моделирование. При моделировании ПМ с ВППО предполагается следующее: времена обслуживания ТЯ и КСУ распределены по экспоненциальному закону. Блок-диаграмма GPSS показана на **Рис.2**.

Текст программы, описывающий структурную схему ПМ с ВППО, представленную на **Рис.1**, приведен ниже.

```

*****
; GPSS World File – Модель синхронной линии. Единица времени 1 час
*****

*****
*      Model Segment 1
*****
t      EQU 0.075; время обслуживания на ТЯ
t1     EQU 0.005; время обслуживания на КСУ
t2     EQU 0.016; время обслуживания на ТЯ для исправления брака
ngen  EQU      93      ; номер генератора

```

Анализ функционирования производственного модуля с возвратом продукции на повторное
обслуживание, на основе имитационного моделирования

```

Prov1      BVARIABLE
F$ASC1'AND'F$ASC2'AND'F$ASC3'AND'F$ASC31'AND'F$KSU2'AND'F$KSU3; условие, что
все ячейки и КСУ заняты
Prov2 BVARIABLE F$ASC2 ; условие занятости ТЯ 2
Prov3 BVARIABLE F$KSU2; условие занятости КСУ 2
Prov4      BVARIABLE F$ASC3 ; условие занятости ТЯ 3
Prov5      BVARIABLE F$KSU3; условие занятости КСУ 3
Prov6 BVARIABLE F$ASC31 ; условие занятости ТЯ 3 для исправления брака

GENERATE   ,,,100000

TEST E      BV$Prov1,0
SEIZEASC1
ADVANCE      (Exponential(nген,0,t)) ; обслуживание заявки
TEST E      BV$Prov2,0,
RELEASE      ASC1                      ; освободить ТЯ1

Lab2        SEIZE      ASC2                      ; занять ТЯ2
ADVANCE      (Exponential(nген,0,t)) ; обслуживание заявки
TEST E      BV$Prov3,0,
RELEASE      ASC2                      ; освободить ТЯ2
SEIZE      KSU2                      ; занять КСУ2
ADVANCE      (Exponential(nген,0,t1)) ; обслуживание заявки
TEST E      BV$Prov4,0,                ; проверка устройства ТЯ3
RELEASE      KSU2                      ; освободить КСУ2
TRANSFER    .20,,Lab2

Lab3        SEIZE      ASC3                      ; занять ТЯ3
ADVANCE      (Exponential(nген,0,t)) ; обслуживание заявки
TEST E      BV$Prov5,0,                ; проверка устройства КСУ3
RELEASE      ASC3                      ; освободить ТЯ3
SEIZE      KSU3                      ; занять КСУ3
ADVANCE      (Exponential(nген,0,t1)) ; обслуживание заявки
TEST E      BV$Prov6,0,                ; проверка устройства ТЯ3
RELEASE      KSU3                      ; освободить КСУ2
TRANSFER    .80,,Lab4
SEIZE      ASC31                      ; занять ТЯ31
ADVANCE      (Exponential(nген,0,t2)) ; обслуживание заявки
RELEASE      ASC31                      ; освободить ТЯ3
TRANSFER    ,Lab3

Lab4        SAVEVALUE ALLPART+,1          ; счётчик заявок
SAVEVALUE PwLine,(100000/AC1)
TERMINATE 1                          ; выход с линии

START 100000

```

Каждой единице продукции, поступающей на вход ПМ с ВППО, соответствует транзакт. Источник единиц обслуживаемой продукции моделируется блоком GENERATE. Каждая ячейка и контрольно-сортировочное устройство моделируется таким объектом языка GPSS, как “устройство” (блок SIEZE и блок RELEASE), причем ячейки ТЯ_і в имитационной модели обозначены ASC_і, а КСУ_і – KSU_і. Задержка транзакта на время, равное времени обслуживания, имитируется блоками ADVANCE. В модели предполагается проверка возможности продвижения транзакта перед каждым входом в блоки SIEZE, RELEASE. Вход в блок

поэтому для каждой точки факторного пространства были получены 10 значений отклика у.

После проведения машинного эксперимента производилась оценка среднего значения функции отклика по методике, приведенной в [13].

Итоговые результаты оценки имитационных экспериментов сведены в таблицу 1.

Таблица 1. –Результаты имитационных исследований ПМ с ВППО

№ точки факторного пространства	Производительность, шт/ч		%
	математическое ожидание по данным имитационного моделирования ПМ с ВППО	математическое ожидание по данным имитационного моделирования ПМ без ВППО	
1	6,925	6,475	6,95
2	7,582	7,285	4,077
3	10,361	9,713	6,671
4	11,308	10,927	3,487
5	5,222	4,897	6,637
6	5,699	5,509	3,449
7	6,901	6,475	6,579
8	7,534	7,285	3,418
9	10,222	9,713	5,24
10	11,249	10,927	2,947
11	5,174	4,897	5,657
12	5,683	5,509	3,158
13	6,909	6,475	6,703
14	7,51	7,285	3,089
15	10,285	9,713	5,889
16	11,291	10,927	3,331
17	5,199	4,897	6,167
18	5,69	5,509	3,286
19	6,869	6,475	6,085
20	7,529	7,285	3,349
21	10,202	9,713	5,034
22	11,211	10,927	2,599
23	5,18	4,897	5,779
24	5,666	5,509	2,85

Результаты исследований, показывают, что использование возврата продукции на повторное обслуживание в производственных модулях

позволяет повысить количество годных изделий на выходе модуля в зависимости от предполагаемого брака на 2,85 ... 6,95 %.

Библиографический список

1. Меткин Н. П. Технологическая подготовка гибких автоматизированных сборочно-монтажных производств в машиностроении / Н. П. Меткин, М. С. Лапин, В. И. Гольц. – Л.: Машиностроение, 1986. – 192 с.
2. Копп В.Я. Использование итерационного подхода при построении математических моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями / В.Я. Копп, А.И. Балакин // «Оптимизация производственных процессов» Сб.научн.тр Севастополь, №7, 2004. – С. 3–9.
3. Копп В.Я. Итерационный подход при построении математических моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями, включающими ячейки для исправления брака / В.Я. Копп, А.И. Балакин // Вестник СевГТУ, Сер. Автоматизация процессов и управление, №63, 2005. – С. 21–28.
4. Балакин А.И. Анализ функционирования автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание, на основе имитационного моделирования/ А.И. Балакин, В.Я. Копп, Н.А. Балакина //Автоматизация и измерения в машино- приборостроении, № 2(2), 2018. – С. 34-41.
5. Балакин А.И. Имитационное моделирование автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание с исправлением брака на специальных технологических ячейках/ А.И. Балакин, В.Я. Копп, Н.А. Балакина //Автоматизация и измерения в машино- приборостроении, № 4(8), 2019. – С. 72-80.
6. Балакин А.И. Аналитическое и имитационное моделирование асинхронной автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание / А.И. Балакин, В.Я. Копп, Г.Г. Макухина // Технологические комплексы, №1(3), 2011. – С. 32–36.
7. Балакин А.И. Построение полумарковской модели автоматизированного участка с возвратом продукции / В.Я. Копп, О.В. Филипович, А.М. Кукушкин //Системні технології, № 5(64), 2009. – С. 101–111.
8. Копп В.Я. Итерационный подход при построении полумарковских моделей автоматизированного участка с обратной связью / В. Я. Копп, Ю. Е. Обжерин, А. И. Балакин // Вестник СевГТУ. Автоматизация процессов и управление, Вып. 49, 2003 – С. 142–147
9. Копп В.Я. Модель гибкой синхронной линии с рефлексорным управлением и обратными связями / В.Я. Копп, Л.Е. Карташов, А.И. Балакин // Оптимизация производственных процессов, Вып.11, 2009 – С. 141–145.

10. Копп В.Я. Построение марковских моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями / В.Я. Копп, А.И. Балакин, О.В. Филипович, Н.В. Серова // Вестник Тольяттинского государственного университета. Сб.тр. Всероссийской научн.-техн. конф. с международным участием «Со-временные тенденции развития автомобилестроения в яроссии», Том 3 (26-28 мая 2004г.). – С. 166–170.
11. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS: Пер. с англ. / Т.Дж. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
12. Кринецкий И.И. Основы научных исследований: Учебное пособие для вузов / И.И. Кринецкий. – Киев. – Одесса: Вища школа, Головное изд-во, 1981. – 208 с.
13. Митропольский А.К. Статистическое исчисление / А.К. Митропольский. – Ленинград, 1953. – т. 3. – 200 с.

Bibliograficheskij spisok

1. Metkin N. P. Tekhnologicheskaya podgotovka gibkih avtomatizirovannyh sborochno-montazhnyh proizvodstv v mashinostroenii / N. P. Metkin, M. S. Lapin, V. I. Gol'c. – L.: Mashinostroenie, 1986. – 192 s.
2. Kopp V.YA. Ispol'zovanie iteracionnogo podhoda pri postroenii matematicheskikh modelej asinhronnyh avtomatizirovannyh linij s obratnymi svyazyami / V.YA. Kopp, A.I. Balakin // «Optimizaciya proizvodstvennyh processov» Sb.nauchn.tr Sevastopol', №7, 2004. – S. 3–9.
3. Kopp V.YA. Iteracionnyj podhod pri postroenii matematicheskikh modelej asinhronnyh avtomatizirovannyh linij s obratnymi svyazyami, vklyuchayushchimi yachejki dlya ispravleniya braka / V.YA. Kopp, A.I. Balakin // Vestnik SevGTU, Ser. Avtomatizaciya processov i upravlenie, №63, 2005. – С. 21–28.
4. Balakin A.I. Analiz funkcionirovaniya avtomatizirovannoj linii s vozvratom produkcii na povtornoje obsluzhivanie, na osnove imitacionnogo modelirovaniya/ A.I. Balakin, V.YA. Kopp, N.A. Balakina //Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii, № 2(2), 2018. – S. 34-41.
5. Balakin A.I. Imitacionnoe modelirovanie avtomatizirovannoj linii s vozvratom produkcii na povtornoje obsluzhivanie s ispravleniem braka na special'nyh tekhnologicheskikh yachejkah/ A.I. Balakin, V.YA. Kopp, N.A. Balakina //Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii, № 4(8), 2019. – S. 72-80.
6. Balakin A.I. Analiticheskoe i imitacionnoe modelirovanie asinhronnoj avtomatizirovannoj linii s vozvratom produkcii na povtornoje obsluzhivanie / A.I. Balakin, V.YA. Kopp, G.G. Makuhina // Tekhnologicheskie komplekсы, №1(3), 2011. – S. 32–36.
7. Balakin A.I. Postroenie polumarkovskoj modeli avtomatizirovannogo uchastka s vozvratom produkcii / V.YA. Kopp, O.V. Filipovich, A.M. Kukushkin //Sistemni tekhnologii, № 5(64), 2009. – S. 101–111.

8. Kopp V.YA. Iteracionnyj podhod pri postroenii polumarkovskih modelej avtomatizirovannogo uchastka s obratnoj svyaz'yu / V. YA. Kopp, YU. E. Obzherin, A. I. Balakin // Vestnik SevGTU. Avtomatizaciya processov i upravlenie, Vyp. 49, 2003 – S. 142–147
9. Kopp V.YA. Model' gibkoj sinhronnoj linii s reflektornym upravleniem i obratnymi svyaz'ymi / V.YA. Kopp, L.E. Kartashov, A.I. Balakin // Optimizaciya proizvodstvennyh processov, Vyp.11, 2009 – S. 141–145.
10. Kopp V.YA. Postroenie markovskih modelej asinhronnyh avtomatizirovannyh linij s obratnymi svyaz'ymi / V.YA. Kopp, A.I. Balakin, O.V. Filipovich, N.V. Serova // Vestnik Tol'yattinskogo gosudarstvennogo universiteta. Sb.tr. Vserossijskoj nauchn.-tekhn. konf. s mezhdunarodnym uchastiem «So-vremennye tendencii razvitiya avtomobilestroeniya v yarossii», Tom 3 (26-28 maya 2004g.). – S. 166–170.
11. SHrajber T.Dzh. Modelirovanie na GPSS: Per. s angl. / T.Dzh. SHrajber. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 592 s.
12. Krineckij I.I. Osnovy nauchnyh issledovanij: Uchebnoe posobie dlya vuzov / I.I. Krineckij. – Kiev. – Odessa: Vishcha shkola, Golovnoe izd-vo, 1981. – 208 s.
13. Mitropol'skij A.K. Statisticheskoe ischislenie / A.K. Mitropol'skij. – Leningrad, 1953. – t. 3. – 200 s.

Балакин Алексей Игоревич, к.т.н., доцент, AIBalakin@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Балакина Наталья Анатольевна, старший преподаватель, 040578@rambler.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Волошина Наталия Александровна, к.т.н., доцент, AIBalakin@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

AUTOMATED LINE ANALYSIS OF OPERATION WITH RETURN OF PRODUCTION FOR RE-SERVICE BASED ON IMITATION SIMULATION

A.I. Balakin, N.A. Balakina, N.A. Voloshina

The structure of the production module with the re-turn of products for re-service is considered, its simulation model is proposed. A program in the GPSS language and its block diagram are presented. The results of modeling are presented and their analysis is carried out, which showed the possibility of increasing the productivity of the production module when using the return of products for repeated service.

Keywords: production module, re-service, simulation model, productivity.

*Balakin Alexey Igorevich, Ph.D., docent, AIBalakin@sevsu.ru, Russia,
Sevastopol, Sevastopol State University*

*Balakina Natalia Anatolyevna, senior lecturer, 040578@rambler.ru,
Russia, Sevastopol, Sevastopol State University*

*Voloshina Natalia Alexandrovna, Ph.D., docent, AIBalakin@sevsu.ru,
Russia, Sevastopol, Sevastopol State University*

ОСОБЕННОСТИ СОВМЕЩЕНИЯ ЧИСТОВОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ НЕСКОЛЬКИМИ РЕЗЦАМИ

Вожжов А. А.

Аннотация. В соответствии с физико-технологической теорией образования неровностей деталей при точении предлагается использовать технологические схемы, предусматривающие различные варианты совмещения чистовой обработки двумя одновременно работающими резцами. Проведен анализа возможных отклонений профиля относительно их средних значений, приведена схема образования неровностей на обработанной поверхности для описанного расположения резцов; сделано предположение, что использование предложенного подхода позволит повысить производительность обработки и значительно упростить заточку и настройку резцов. Допустимость и эффективность такого подхода к формированию рельефа поверхности подтверждается экспериментально.

Ключевые слова. Моделирование, технологический фактор, двурезцовое точение, точение с оппозитным размещением резцов, микрорельеф, точность, качество деталей, взаимное перемещение заготовки и инструмента.

Схемы совмещения обработки черновым и чистовым резцами, которые делят между собой припуск, достаточно хорошо известны и часто встречаются в практике [1 – 4].

Однако технологические схемы, предусматривающие различные варианты совмещения чистовой обработки двумя одновременно работающими резцами, имеют свои особенности.

В развитие совмещенной обработки предложен метод деления подачи между двумя резцами. Это могут быть как чистовые, так в отдельных случаях и черновые резцы.

Особенность метода заключается в выставлении двух резцов на один и тот же размер обработки и смещении их вершин (между собой) в направлении подачи на величину

$$l = \left(n + \frac{1}{2} \right) \cdot S, \quad (1)$$

где l – расстояние между резцами вдоль оси в мм; n – любое положительное целое число (в том числе и 0); S – подача в мм/об.

Схема образования неровностей на обработанной поверхности для описанного расположения резцов приведена на **Рис.1**. Резец 1, занимая в осевом сечении обрабатываемой детали 3 ряд последовательных положений 1, 1' и т.д., смещенных друг относительно друга на величину оборотной

подачи S , оставляет на обработанной поверхности неровности высотой H_1 . Смещение вершины резца 2 относительно вершины резца 1 на величину $l = (n + 0,5) \cdot S$ приводит к тому, что резец 2 не копирует винтовую поверхность, образованную резцом 1, а срезает ее, оставляя на обработанной поверхности неровности высотой H_2 .

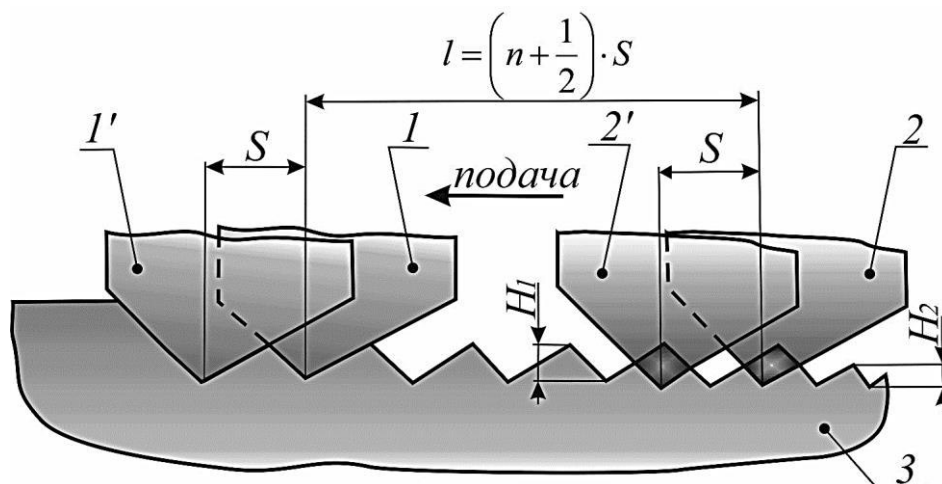


Рис.1 – Схема разворота резцов на угол θ° в плоскости, нормальной к оси борштанги

При установке резцов под углом друг к другу один резец отстает от другого в направлении вращения борштанги на угол разворота резцов θ° . Углу разворота резцов θ° соответствует смещение вершин резцов вдоль оси (в направлении подачи) на величину

$$l_1 = \frac{\theta}{2\pi} \cdot S, \quad (2)$$

с учетом которого формула для определения осевого смещения вершин резцов приобретает вид:

$$l = \left(n + \frac{1}{2} - \frac{\theta}{2\pi} \right) \cdot S. \quad (3)$$

Схема образования неровностей на обработанной поверхности при работе по методу деления подачи представлена на **Рис.1**.

Теоретически метод деления подачи между двумя резцами равноценен методу обработки одним резцом с подачей

$$S' = \frac{S}{2}, \quad (4)$$

где S – фактическая подача в мм/об; S' – подача, приведенная к одному резцу в мм/об.

Подставляя подачу, приведенную к одному резцу, в формулу проф. В.Л.Чебышева [7]

$$R_z = \frac{S^2}{8 \cdot r}. \quad (5)$$

Получим шероховатость для метода деления подачи

$$R_z = \frac{\left(\frac{S}{2}\right)^2}{8 \cdot r} = \frac{S^2}{32 \cdot r}. \quad (6)$$

Анализ приведенных формул показывает, что при использовании метода деления подачи между двумя резцами с условием сохранения неизменной шероховатости поверхности подача может быть увеличена вдвое или шероховатость обработанной поверхности может быть уменьшена вчетверо при неизменной подаче. Приведенные рассуждения справедливы для обычного точения и растачивания, т.к. формула проф. Чебышева практически подтверждается только для $r \geq 1$ мм и $S > 0,15$ мм/об [4,5].

В зоне подач, применяемых при тонком растачивании, изменение подачи не приводит к изменению шероховатости поверхности по закону параболы. Влияние подачи на шероховатость поверхности значительно уменьшается и в зоне подач 0,04 – 0,15 мм/об для резцов с малыми радиусами закругления вершины с учетом чисто геометрических причин образования неровностей может быть достаточно точно описано законом прямой пропорциональности. Таким образом, при тонком растачивании отверстий методом деления подачи следует ожидать уменьшение шероховатости поверхности примерно в два раза при неизменной подаче (по сравнению с однорезцовым тонким растачиванием) [6].

Наиболее простым и перспективным конструктивным решением применения метода деления подачи при тонком растачивании является вариант обработки, основанный на противоположном размещении двух резцов со смещением вершин. При этом процесс деления подачи между резцами будет выполняться автоматически при любых численных значениях величины подачи, т.к. один резец всегда будет отставать от другого в направлении вращения на половину оборота. При этом обеспечивается высокая производительность обработки и значительно упрощается заточка и настройка резцов. Существенной в этом случае становится не сама величина смещения вершин резцов относительно базовых цилиндрических поверхностей, а одинаковый тип каждого из двух резцов, принадлежащих к одной паре. При этом преимуществом данного метода деления подачи является наличие одинаковых условий резания и износа для обоих резцов, т.к. каждый из них срезает припуск нормальной одинаковой глубины.

Особенности совмещения обработки несколькими чистовыми резцами с учетом состояния режущего инструмента, а так же вопросы влияния противоположного размещения резцов на точность формы

поперечного сечения, связанную с упругими деформациями технологической системы, с точки зрения образования погрешностей размера и формы, предполагается исследовать в последующих работах.

Библиографический список

1. Дьяченко П.Е. Исследование зависимости микрогеометрии поверхности от условий механической обработки / П.Е. Дьяченко. – Москва – Ленинград: Изд-во АН СССР, 1949. – 126 с.
2. Внуков Ю.М. Особенности формирования топографии обработанной поверхности детали при точении с вибрациями / Ю.М. Внуков, М.В. Кучугуров // Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Машиноприладобудування та транспорт. №151/2014, 2014. – С. 36–40.
3. Кучугуров М.В. Способ определения сдвига фаз волн на поверхности резания ψ при точении / М.В. Кучугуров, Ю.Н. Внуков, С.И. Дядя // Вісник ЖДТУ: Процеси механічної обробки в машинобудуванні, Вип. 14, 2013. – С. 93–100.
4. Резание металлов и технологическая точность в машиностроении: Ч1 / Под ред. Ю.А. Розенберг, В.П. Пономарева. – Кург.машиностр.ин-т, 1968. – 235с.
5. Вожжов А.А. Обоснование объема исследовательской выборки в задачах прогнозирования параметров точности и качества изделия / А.А.Вожжов, В.А. Гречко, А.И. Рябченко / Научный рецензируемый журнал. «Главный механик», № 6 (202), 2020. – С. 18-22.
6. Гришина Т.Г. Факторы, влияющие на оперативность управления технологическими системами / Т.Г. Гришина // Вестник МГТУ «Станкин». № 3(15), 2011. – С. 167–169
7. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю. К. Новоселов. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2012. – 304 с.

Bibliograficheskij spisok

1. D'yachenko P.E. Issledovanie zavisimosti mikrogeometrii poverhnosti ot uslovij mekhanicheskoy obrabotki / P.E. D'yachenko. – Moskva – Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1949. – 126 s.
2. Vnukov YU.M. Osobennosti formirovaniya topografii obrabotannoj poverhnosti detali pri tochenii s vibraciyami / YU.M. Vnukov, M.V. Kuchugurov // Visnik SevNTU: zb. nauk. pr. Mashinopriladobuduvannya ta transport. №151/2014, 2014. – S. 36–40.
3. Kuchugurov M.V. Sposob opredeleniya sdviga faz voln na poverhnosti rezaniya ψ pri tochenii / M.V. Kuchugurov, YU.N. Vnukov, S.I. Dyadya // Visnik ZHDTU: Procesy mekhanichnoï obrobki v mashinobuduvanni, Vip. 14, 2013. – S. 93–100.

4. Rezanie metallov i tekhnologicheskaya tochnost' v mashinostroenii: CH1 / Pod red. YU.A. Rozenberg, V.P. Ponomareva. – Kurg.mashinostr.in-t, 1968. – 235s.
5. Vozhzhov A.A. Obosnovanie ob"ema issledovatel'skoj vyborki v zadachah prognozirovaniya parametrov tochnosti i kachestva izdeliya / A.A.Vozhzhov, V.A. Grechko, A.I. Ryabchenko / Nauchnyj recenziruemyj zhurnal. «Glavnyj mekhanik», № 6 (202), 2020. – S. 18-22.
6. Grishina T.G. Faktory, vliyayushchie na operativnost' upravleniya tekhnologicheskimi sistemami / T.G. Grishina // Vestnik MGTU «Stankin». № 3(15), 2011. – S. 167–169
7. Novoselov YU. K. Dinamika formoobrazovaniya poverhnostej pri abrazivnoj obrabotke / YU. K. Novoselov. – Sevastopol' : Izd-vo SevNTU, 2012. – 304 s.

Андрей Анатольевич Вожжов, к.т.н., доцент, e-mail: 0506773532@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

FEATURES OF COMBINING FINISHING TURNING WITH SEVERAL CUTTERS

A.A. Vozhzhov

Annotation: Analysis of possible deviations of the profile relative to their average values is carried out, the scheme of the formation of unevenness on the treated surface for the described arrangement of the cutters is given, the assumption is made that the use of the proposed approach will allow, increase the processing productivity and significantly simplify the sharpening and adjustment of the cutters. The admissibility and effectiveness of this approach to the formation of the surface relief is confirmed experimentally.

Key words: modeling, technological factor, double-edged turning, turning with opposite placement of cutters, microrelief, accuracy, quality of parts, mutual movement of the workpiece and the tool.

Andrey Anatolyevich Vozhzhov, Ph.D., docent, e-mail: 0506773532@mail.ru, Sevastopol State University

УПРАВЛЕНИЕ С МИНИМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ПЕРЕНОСНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ

Бохонский А.И.¹, Варминская Н.И.², Рыжков А.И.³

Аннотация. Обращается внимание на использование алгоритма решения полной обратной задачи вариационного исчисления (реверсионное исчисление) для поиска оптимального управления типа “разгон-торможение” при переносном движении объектов. Показано, что традиционное управление с использованием квадратичного критерии оптимальности может быть получено и в результате реверсивного конструирования. Новое управление отличается от известного традиционного снижением энергозатрат для достижения цели движения, – перемещение объекта из исходного в конечное состояние покоя при фиксированном времени движения и заданном расстоянии. Доказано утверждение о существовании минимально возможной энергии для реализации данного типа движения.

Ключевые слова. Оптимальное управление, вариационный метод, реверсионное конструирование, энергоёмкость управления.

Введение. Развитию и применению методов теории оптимального управления движением объектов техники посвящены работы [1-7] и другие. Например, монография [5] посвящена применению точных и приближенных методов решения задач управляемого движения линейных и нелинейных система, преодолены значительные математические трудности синтеза управления колебаниями механических систем.

Конструированию управления с использованием алгоритма реверсионного принципа оптимальности (РПО) посвящены работы [7-12]. Важно отметить, что при таком пути поиска управления в конечном счёте появляется новый функционал-критерий, экстремум (минимум) которого подтверждает оптимальность найденного управления.

Цель исследования – сравнительный анализ традиционного и нетрадиционного управления с учётом возможности оценки снижения энергозатрат для достижения цели движения.

Реверсионное конструирование управления.

В теории оптимального управления [7] известен пример перемещения объекта из исходного состояния в конечной состоянии покоя на расстояние L при заданном времени движения T . При решении задачи использовался критерии оптимальности $J_1 = \int_0^T U^2 dt$, где U – управление на единицу массы (ускорение).

При решении этой задачи с использованием ревизионного принципа оптимальности (РПО) перемещение объекта из исходного состояния покоя в конечное состояние покоя зададим полиномом:

$$S(t) = C_1 t^2 + C_2 t^3, \quad (1)$$

где $C_1, C_2 = \text{const}$. Функция (1) заведомо удовлетворяет условиям $S(0) = 0$, $\dot{S}(0) = 0$. Для определения C_1 и C_2 принято:

$$U(0) + U(T) = 0, \quad S(T) = L, \quad (2)$$

где $U(t) = \frac{d^2 S}{dt^2}$. Из условий (2) следует: $C_1 = \frac{3L}{T^2}$, $C_2 = -\frac{2L}{T^3}$.

Перемещение $S(t)$, скорость $V(t)$ и ускорение (управление) $U(t)$ принимают вид:

$$S(t) = \frac{Lt^2(3T-2t)}{T^3}, \quad V(t) = \frac{6Lt(T-t)}{T^3}, \quad U(t) = \frac{6L(T-2t)}{T^3}. \quad (3)$$

Как известно [8], функциям (3) соответствует уравнение Эйлера $\frac{d^4 S}{dt^4} = 0$ и функционал $J_1 = \int_0^T U^2 dt$.

С целью сравнения данного решения с новым, также полученным путем конструирования, вычислены интегральные характеристики оптимального движения (при $m=1 \text{ кг}$):

$$\text{Норма мощности} \quad J_1 = \int_0^T U^2 dt = \frac{12L^2}{T^3},$$

$$\text{Действие (по Лагранжу)} \quad J_2 = \int_0^T V^2 dt = 144 \frac{L^2}{T^3}, \quad (4)$$

$$\text{Энергия} \quad J_3 = 2 \int_0^{T/2} UV dt = 2,25 \frac{L^2}{T^2}.$$

Графики $S(t)$, $V(t)$, $U(t)$ при $L=1 \text{ м}$, $T=1 \text{ с}$ изображены на **Рис.1**.

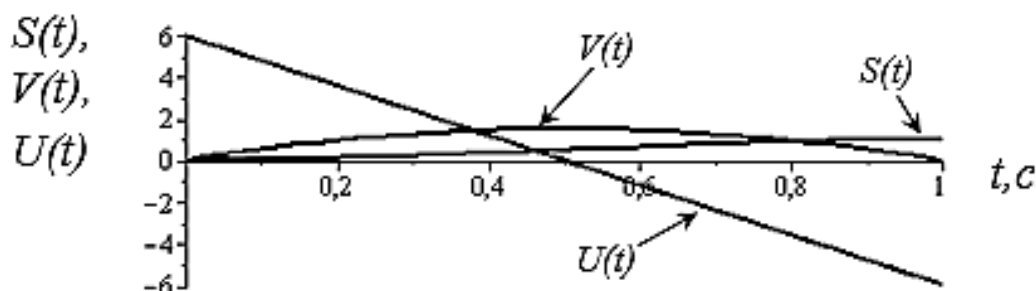


Рис.1 – Графики перемещения $S(t)$, скорости $V(t)$ и ускорения (управления) $U(t)$.

Реверсионное конструирование нового варианта управления (с меньшей энергоемкостью).

Для перемещения принят полином

$$S(t) = \sum_{i=1}^4 C_i t^{i+1}. \quad (5)$$

С целью определения констант $C_1..C_4$ полинома (5) использованы краевые условия и условия косой симметрии управления (ускорения):

$$S(T) = L, \quad \frac{dU}{dt}\left(\frac{T}{2}\right) = 0; \quad U(0) + U(T) = 0, \quad \int_0^{\frac{T}{2}} U(t) dt + \int_{\frac{T}{2}}^T U(t) dt = 0. \quad (6)$$

Из (6), как алгебраических уравнений, получены константы:

$$C_1 = \frac{5L}{T^2}, \quad C_2 = -\frac{10L}{T^3}, \quad C_3 = \frac{10L}{T^4}, \quad C_4 = -\frac{4L}{T^5}. \quad (7)$$

Для данного варианта с учетом найденных констант (7) выражение для перемещения, скорости и ускорения (управления) следующие:

$$\begin{aligned} S(t) &= \frac{Lt^2}{T^5} (5T^3 - 10T^2t + 10Tt^2 - 4t^3), \\ V(t) &= \frac{10Lt}{T^5} (T-t)(2t^2 - 2Tt + T^2), \\ U(t) &= \frac{10L}{T^5} (T-2t)^3. \end{aligned} \quad (8)$$

Вычисленные характеристики оптимального движения:

$$J_1 = \frac{14,21L^2}{T^3}, \quad J_2 = \frac{1,11L^2}{T}, \quad J_3 = \frac{1,5625L^2}{T^2}. \quad (9)$$

В этом примере уравнение Эйлера $\frac{d^6 S}{dt^6} = 0$ и восстановленный функционал-критерий $J = \int_0^T \ddot{U}^2 dt$. Очевидно, что при таком критерии и ограничениях (6) и вариационным методом находятся зависимости (8).

С использованием прежних исходных данных графики $S(t)$, $V(t)$, $U(t)$ изображены на **Рис.2**.

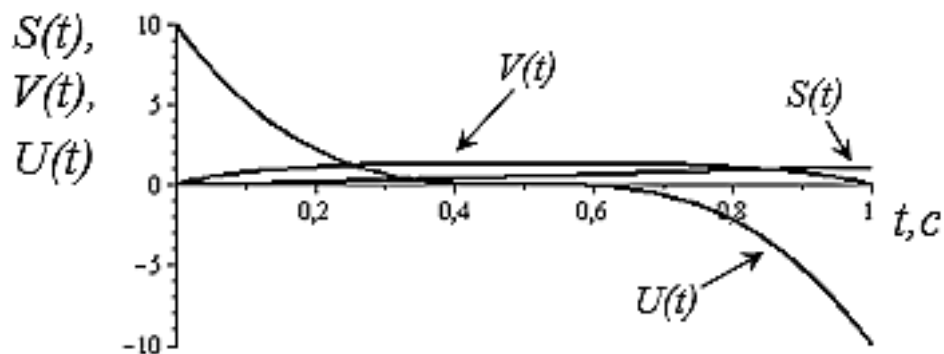


Рис.2 – Графики $U(t)$, $V(t)$ и $S(t)$ нового конструируемого управления (ускорения).

Обращает на себя внимание значение критерия J_3 , свидетельствующее о снижении энергетических затрат на достижение цели движения.

Обобщение результатов исследования

Решение ряда задач конструирования управлений (переносных ускорений) с использованием реверсионного алгоритма привело, в результате обобщения опыта, к следующим универсальным зависимостям для перемещения, скорости и ускорения:

$$\begin{aligned} S(t) &= \frac{L}{2T(n+1)} \cdot (T^{-n-1}(T-2t)^{n+2} + 2nt + 4t - T), \\ V(t) &= \frac{L(n+2)}{T(n+1)} \cdot (1 - (T-2t)^{n+1} \cdot T^{-n-1}), \\ U(t) &= \frac{2L(n+2)}{T^{n+2}} \cdot (T-2t)^n. \end{aligned} \quad (10)$$

Для формул (10) выполняются условия $U_e(t) = \frac{dV_e(t)}{dt}$, $V_e(t) = \frac{dS_e(t)}{dt}$; при этом $S_e(0) = 0$, $V_e(0) = 0$.

Если, например, $n=1$, то из (10) следуют известные [8] выражения (3). При $n=3$ следуют выражения (8), полученные реверсионно.

Теорема. Оптимальному управлению (ускорению) типа “разгон-торможение” соответствует минимальная энергия, при которой достигается цель движения – перемещение на расстояние L за время T .

Доказательство.

1. Вычисление предельной энергии

$$\begin{aligned} A &= \lim_{n \rightarrow \infty} 2 \int_0^{T/2} U_e(t) \cdot V_e(t) dt = \\ &= \frac{L^2}{T^2} \cdot \text{evalf} \left(\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(n+2)^2}{(n+1)^2}, n = \text{infinity} \right) = \frac{L^2}{T^2}. \end{aligned} \quad (11)$$

2. Использование теоремы об изменении кинетической энергии системы с одной степенью свободы на этапе разгона (при $m=1$ кг).

$$K - K_0 = \frac{A}{2}, \quad (12)$$

где $K_0 = 0$, $K = \frac{1}{2} V_e^2$ (при $t = \frac{T}{2}$).

Итак, кинетическая энергия в момент окончания участка разгона равна

$$K = \frac{L^2}{2T^2} \frac{(n+2)^2}{(n+1)^2} = \frac{A}{2}. \quad (13)$$

Формула является проверкой теоремы о минимуме энергоемкости.

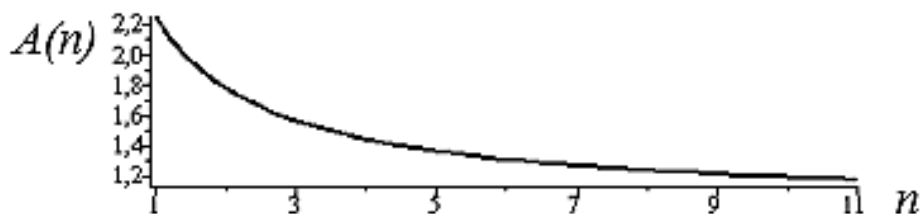
3. Численный пример

При $L=1$ м, $T=1$ с из (11) следует выражение для общей энергии:

$$A = \frac{(n+2)^2}{(n+1)^2}. \quad (14)$$

Таблица 1. – Зависимость энергозатрат от степени полинома

n	1	3	7	1234
A	1,25	1,562	1,2656	1,016

**Рис.3** – График зависимости энергии от степени полинома.**Выводы.**

1. Сравнение двух управлений перемещением объектов свидетельствует об экономии энергии при использовании нетрадиционного (второго) управления, полученного в результате реверсионного конструирования.

2. Найдены универсальные аналитические зависимости как кинематические характеристики оптимального переносного движения, из которых следуют частные случаи других управлений [8-10].

3. Обоснованно и доказано существование предельной энергии управления для достижения цели движения при стремлении степени задаваемого полинома к бесконечности.

Библиографический список

1. Красовский Н.Н. Теория управления движением / Н.Н. Красовский. – М.: Наука, 1968. – 476 с.
2. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели / П.Д. Крутько. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
3. Карновский И.А. Методы оптимального управления колебаниями деформируемых систем / И.А. Карновский, Ю.М. Почтман. – К.: Высш. школа, 1982. – 116 с.
4. Троицкий В.А. Оптимальные процессы колебаний механических систем / В.А. Троицкий. – Л.: Машиностроение, 1976. – 236 с.
5. Черноусько Ф.Л. Управление колебаниями / Ф.Л. Черноусько, П.Д. Акуленко Б.Н. Соколов. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
6. Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами / А.Г. Бутковский. – М.: Наука, 1975. – 568 с.
7. Бохонский А.И. Энергоемкость управления перемещением объектов / А.И. Бохонский // Фундаментальные основы механики: матер. междунар. науч.-практич. конф., 2017. – С. 38–41.

8. Теория автоматического управления ч.II. Теория нелинейных специальных систем управления / под ред. А.А. Воронова. – М. Высшая школа, 1997. – 288 с.
9. Бохонский А.И. Конструирование оптимального управления движения объектов как абсолютно твердых и деформируемых тел / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, А.И. Рыжков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2016. – С. 70–76.
10. Бохонский А.И. Оптимальность конструируемых управлений перемещением объектов / А.И. Бохонский, М.М. Майстришин // Научно-технический журнал. Гос. университет, 2017. – С. 31–38.
11. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности / А.И. Бохонский. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174 с.
12. Бохонский, А.И. Оценка энергопотребления для оптимального управления движением объекта (Evaluation of energy consumption for the object motion optimal control) / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская // ICMTMTE IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. – URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044093>

Bibliograficheskij spisok

1. Krasovskij N.N. Teoriya upravleniya dvizheniem / N.N. Krasovskij. – М.: Nauka, 1968. – 476 s.
2. Krut'ko P.D. Obratnye zadachi dinamiki upravlyaemyh sistem: linejnye modeli / P.D. Krut'ko. – М.: Nauka, 1987. – 304 s.
3. Karnovskij I.A. Metody optimal'nogo upravleniya kolebaniyami deformiruemyh sistem / I.A. Karnovskij, YU.M. Pochtman. – К.: Vyssh. shkola, 1982. – 116 s.
4. Troickij V.A. Optimal'nye processy kolebanij mekhanicheskikh sistem / V.A. Troickij. – L.: Mashinostroenie, 1976. – 236 s.
5. CHernous'ko F.L. Upravlenie kolebaniyami / F.L. CHernous'ko, P.D. Akulenko B.N. Sokolov. – М.: Nauka, 1980. – 384 s.
6. Butkovskij A.G. Metody upravleniya sistemami s raspredeennymi parametrami / A.G. Butkovskij. – М.: Nauka, 1975. – 568 с.
7. Bohonskij A.I. Energoemkost' upravleniya peremeshcheniem ob"ektov / A.I. Bohonskij // Fundamental'nye osnovy mekhaniki: mater. mezhdunar. nauch.-praktich. konf., 2017. – S. 38–41.
8. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya ch.II. Teoriya nelinejnyh special'nyh sistem upravleniya / pod red. A.A. Voronova. – М. Vysshaya shkola, 1997. – 288 s.
9. Bohonskij A.I. Konstruirovanie optimal'nogo upravleniya dvizheniya ob"ektov kak absolyutno tverdyh i deformiruemyh tel / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii, 2016. – S. 70–76.

10. Bohonskij A.I. Optimal'nost' konstruirovemykh upravlenij peremeshcheniem ob"ektov / A.I. Bohonskij, M.M. Majstrishin // Nauchno-tehnicheskij zhurnal. Gos. universitet, 2017. – S. 31–38.
11. Bohonskij A.I. Reversionnyj princip optimal'nosti / A.I. Bohonskij. – M.: Vuzovskij uchebnik: INFRA-M, 2016. – 174 s.
12. Bohonskij, A.I. Ocenka energopotrebleniya dlya optimal'nogo upravleniya dvizheniem ob"ekta (Evaluation of energy consumption for the object motion optimal control) / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya // ICMTMTE IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. – URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044093>.

¹Бохонский Александр Иванович, д.т.н., профессор,
bohon.alex@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский
государственный университет,

²Варминская Наталья Ивановна, к.т.н., доцент,
nvarminska@gmail.com, Россия, Севастополь, Черноморское высшее
военно-морское ордена Красной Звезды училище имени П.С. Нахимова,

³Рыжков Александр Игоревич, ассистент, Севастополь,
Севастопольский государственный университет.

MINIMUM ENERGY CONTROL OF PORTABLE OBJECT MOTION

A.I. Bokhonsky, N.I. Varminskaya, A.I. Ryzhkov

Attention is drawn to the use of an algorithm for solving the complete inverse problems of the calculus of variations (reverse calculus) to find the optimal control of the “acceleration-deceleration” type for the portable motion of objects. It is shown that the traditional control using the quadratic optimality criterion can also be obtained as a result of reverse design. The new control differs from the well-known traditional by reducing energy consumption to achieve the goal of movement - moving an object from the initial to the final state of rest for a given fixed movement time and distance. The statement about the existence of the minimum possible energy in the implementation of this type of motion is proved.

Keywords: design of control (portable acceleration), target of motion, optimal acceleration-deceleration, energy of motion, ultimate energy consumption.

*Bokhonsky Alexander Ivanovich, doctor of technical sciences, professor,
bohon.alex@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University,*

Varminskaya Natalia Ivanovna, candidate of technical sciences, nvarminska@gmail.com, Russia, Sevastopol, Black Sea Higher Naval School named after P.S. Nakhimov.

Ryzhkov Aleksandr Igorevich, assistant of the department "Technical Mechanics and Science of Machines", e-mail: ryzhkov2206@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ КАЛЕНДАРНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ

Копп В.Я.¹, Флоря П.Н.², Заморёнов М.В.³, Заморёнов И.М.⁴

Аннотация. В данной статье разрабатывается имитационная модель однокомпонентной системы, учитывающая влияние календарной профилактики на производительность. Проводится статистическая обработка результатов машинного эксперимента. Выносится суждение о правильности построения математической модели такой системы, путем сравнения результатов аналитического и имитационного моделирования.

Ключевые слова. Имитационная модель, календарная профилактика, машинный эксперимент.

Моделирование является одним из основных этапов при разработке нового и модернизации имеющегося оборудования [1]. Чаще всего применяется аналитическое моделирование [2, 3, 4], так как оно позволяет использовать иерархический подход к построению моделей систем, при котором сложная система разбивается на простейшие составляющие. Правильность построения аналитических моделей обусловлена корректным применением математического аппарата. Однако, для исключения вероятных ошибок, проводится имитационное моделирование [5, 6, 7, 8, 9] такой системы, после чего сравниваются результаты моделирования, и выносится суждение о правильности построения аналитической модели.

В данной работе рассматривается модель функционирования однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики. Предлагается построить имитационную модель такой системы, провести ряд экспериментов и сравнить результаты моделирования с аналитической моделью [10].

Рассмотрим функционирование такой системы. Время ее безотказной работы – СВ α_1 с ФР $F_1(t) = P(\alpha_1 \leq t)$, время восстановления системы – СВ β_1 с ФР $G_1(t) = P(\beta_1 \leq t)$. В случайные моменты времени (через промежутки времени α_2 с ФР $F_2(t) = P(\alpha_2 \leq t)$) проводится профилактика, время проведения профилактики – СВ β_2 с ФР $G_2(t) = P(\beta_2 \leq t)$. Профилактика проводится, если момент начала профилактики попал на период работы системы. После проведения профилактики работа системы начинается сначала (рабочие свойства системы полностью обновляются). СВ $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР $F_1(t), G_1(t), G_2(t)$ существуют плотности $f_1(t), g_1(t), g_2(t)$.

Для описания функционирования системы используем ПМВ $\{\xi_n, \theta_n; n \geq 0\}$ и соответствующий ему ПМП $\xi(t)$. Физические состояния системы: 1 – системы исправна, 0 – системы восстанавливается, 2 – системы профилируется. Расширим ФПС, введя полумарковские состояния:

$$E = \{221, 210, 102x, 112z, 200y\},$$

где 221 – началась профилактика, работа системы прервана; 210 – профилактика завершена, работа системы началась сначала; 102x – системы завершила работу, началось восстановление; время, оставшееся до проведения профилактики $x > 0$; 112z – произошло восстановление системы; время, оставшееся до проведения профилактики $z > 0$; 200y – профилактика не проводится, т.к. момент профилактики попал на момент восстановления системы; время, оставшееся до окончания восстановления $y > 0$.

Граф состояний системы приведен на **Рис.1**.

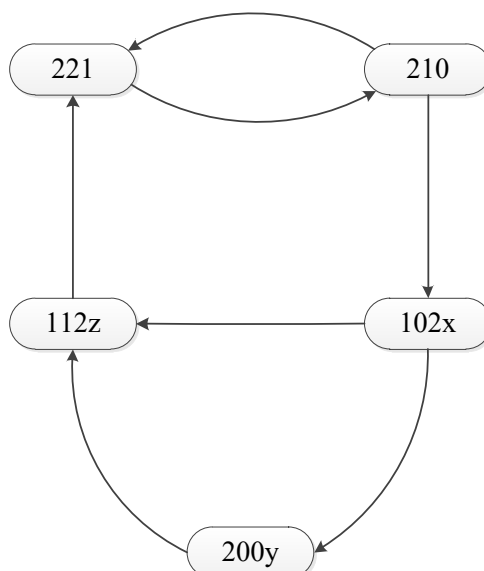


Рис.1 – Граф состояний системы

При построении полумарковской модели приняты следующие допущения:

за время восстановления происходит не более одного события – начало профилактики;

за время между профилактиками происходит не более 1 отказа.

Для данной системы подмножества работоспособных E_+ и неработоспособных E_- состояний имеют вид:

$$E_+ = \{221, 210, 112z\}, E_- = \{200y, 102x\}.$$

В [10] определены функции распределения времен пребывания системы в подмножествах E_+ работоспособных $F_+(s)$ и E_- неработоспособных $F_-(s)$ состояний:

$$\begin{aligned}
F_-(s) &= F_{102}(s) * F_{200}(s), \\
F_+(s) &= F_{112}(s) * \frac{F_{221}(s)}{c_{221} - (c_{221} - 1)f_{221}(s)} * \frac{F_{210}(s)}{c_{210} - (c_{210} - 1)f_{210}(s)}, \\
\text{где } * &\text{ – знак операции свертки, } c_{221} = \frac{m_{221}^\theta}{P_{221} \cdot m_{221}}, c_{210} = \frac{m_{210}^\theta}{P_{210} \cdot m_{210}}, \\
\bar{F}_{221}(t) &= \bar{G}_2(t), \bar{F}_{210}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t), \bar{F}_{112}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_x(t), \\
\bar{F}_{200}(t) &= \bar{F}_2(t) \cdot \bar{F}_y(t), \bar{F}_{102}(t) = \bar{G}_1(t) \cdot \bar{F}_z(t), \\
\bar{F}_x(t) &= \frac{\int_0^\infty [F_2(t+x) - F_2(x)] f_1(x) dx}{\int_0^\infty [1 - F_2(x)] f_1(x) dx}, \bar{F}_y(t) = \frac{\int_0^\infty [G_1(t+x) - G_1(x)] f_x(x) dx}{\int_0^\infty [1 - G_1(x)] f_x(x) dx}, \\
\bar{F}_z(t) &= P_{102}^{112} \frac{\int_0^\infty [F_x(t+x) - F_x(x)] g_1(x) dy}{\int_0^\infty [1 - F_x(x)] g_1(x) dx} + P_{102}^{200} \frac{\int_0^\infty [F_y(t+x) - F_y(x)] g_1(x) dy}{\int_0^\infty [1 - F_y(x)] g_1(x) dx}.
\end{aligned}$$

Построение имитационной модели системы асинхронной репликации данных проводилось в среде GPSS. GPSS (General Purpose Simulation System) – общецелевая система имитационного моделирования, предназначенная для разработки моделей сложных систем с дискретным и непрерывным характером функционирования и проведения экспериментов с целью изучения свойств и закономерностей процессов, протекающих в них, а также выбора наилучшего проектного решения среди нескольких возможных вариантов.

На **Рис.2** представлен листинг программы на языке GPSS.

Приведем пример расчета коэффициента готовности исследуемой системы при следующих исходных данных: $F_1(t)$, $F_2(t)$, $G_1(t)$, $G_2(t)$ распределены по обобщенному закону Эрланга второго порядка с параметрами $\lambda_1, \lambda_2; \mu_1, \mu_2; \nu_1, \nu_2; \gamma_1, \gamma_2$ соответственно; причем

$$\begin{aligned}
f_1(t) &= \frac{\lambda_1 \lambda_2 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})}{\lambda_2 - \lambda_1}, f_2(t) = \frac{\mu_1 \mu_2 (e^{-\mu_1 t} - e^{-\mu_2 t})}{\mu_2 - \mu_1}, \\
g_1(t) &= \frac{\nu_1 \nu_2 (e^{-\nu_1 t} - e^{-\nu_2 t})}{\nu_2 - \nu_1}, g_2(t) = \frac{\gamma_1 \gamma_2 (e^{-\gamma_1 t} - e^{-\gamma_2 t})}{\gamma_2 - \gamma_1},
\end{aligned}$$

где

$$f_1(t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})}{\lambda_2 - \lambda_1}, f_2(t) = \frac{\mu_1 \mu_2 (e^{-\mu_1 t} - e^{-\mu_2 t})}{\mu_2 - \mu_1},$$

$\lambda_1 = 0,2 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 0,0667 \text{ ч}^{-1}$; $\mu_1 = 0,4 \text{ ч}^{-1}$, $\mu_2 = 0,1333 \text{ ч}^{-1}$;
 $\nu_1 = 0,4 \text{ ч}^{-1}$, $\nu_2 = 0,1333 \text{ ч}^{-1}$; $\gamma_1 = 0,8 \text{ ч}^{-1}$, $\gamma_2 = 0,2667 \text{ ч}^{-1}$.

Результаты имитационного моделирования сведены в таблицу 1.

```
nch equ 32
generate ,,,1
met1 seize notk
  advance (Exponential(nch,0,15))
  advance (Exponential(nch,0,5))
  release notk
  seize vost
  preempt prof,,met3,,re
  return prof
  preempt pprof,,met3,,re
  return pprof
  advance (Exponential(nch,0,7.5))
  advance (Exponential(nch,0,2.5))
  release vost
met2 split 1,met1
  terminate
generate ,,,1
met3 seize prof
  advance (Exponential(nch,0,7.5))
  advance (Exponential(nch,0,2.5))
  release prof
  gate nu vost,met3
  seize pprof
  preempt notk,,met2,,re
  return notk
  advance (Exponential(nch,0,1.25))
  advance (Exponential(nch,0,3.75))
  release pprof
  transfer ,met3
generate 100000
terminate 1
start 1
```

Рис.2 – Листинг программы на языке GPSS

Таблица 1 – Результаты имитационного моделирования

Результаты экспериментов						Коэф. гот-ти имит.	Коэф. гот-ти аналит.	Погреш- ность, %
№	Коэф. гот-ти	№	Коэф. гот-ти	№	Коэф. гот-ти			
1	0,72	11	0,723	21	0,723	0,7224	0,71768	0,65
2	0,733	12	0,729	22	0,717			
3	0,716	13	0,722	23	0,722			
4	0,725	14	0,719	24	0,722			
5	0,726	15	0,714	25	0,728			
6	0,725	16	0,723	26	0,723			
7	0,73	17	0,722	27	0,72			
8	0,723	18	0,724	28	0,721			
9	0,725	19	0,723	29	0,716			
10	0,713	20	0,72	30	0,725			

Построенная имитационная модель подтвердила правильность построения аналитической модели однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики. Относительная погрешность по результатам экспериментов составила 0,65%, что говорит о высокой точности построенных моделей.

В дальнейших исследованиях планируется проведение расчетов оптимального распределения времени проведения профилактики и времени между профилактиками.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-01-00704а.

Библиографический список

1. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных производственных систем / В.Я.Копп. – Севастополь: СевНТУ, 2012 – 700 с.
2. Королюк В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин. – К.: Наук. Думка, 1976. – 181 с.
3. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input / A.I. Peschansky. – Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. – 138 p.
4. Копп В.Я. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием / В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2000. – 284 с.
5. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World / В.Д. Боев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
6. Советов Б.Я. Моделирование систем: Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов по спец. АСУ / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 1988. – 135 с.

7. Томашевский В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В.Н. Томашевский, Е.Г. Жданова. – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.
8. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS / Т.Дж. Шрайбер, под ред. М.А. Файнберг. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
9. Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е.М. Кудрявцев. – ДМК, Пресс 2004. – 320 с.
10. Копп В.Я. Исследование функционирования однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики / В.Я. Копп, П.Н. Флоря, М.В. Заморёнов // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении, № 1(9), 2020. – С. 28–39.

Bibliograficheskiy spisok

1. Kopp V.YA. Modelirovanie avtomatizirovannyh proizvodstvennyh sistem / V.YA.Kopp. – Sevastopol': SevNTU, 2012 – 700 s.
2. Korolyuk V.S. Polumarkovskie processy i ih prilozheniya / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin. – K.: Nauk. Dumka, 1976. – 181 s.
3. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input / A.I. Peschansky. – Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. – 138 p.
4. Kopp V.YA Stokhasticheskie modeli avtomatizirovannyh proizvodstvennyh sistem s vremennym rezervirovaniem / V.YA. Kopp, YU.E. Obzherin, A.I. Peschanskij. – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2000. – 284 s.
5. Boev V.D. Modelirovanie sistem. Instrumental'nye sredstva GPSS World / V.D. Boev. – SPb.: BHV-Peterburg, 2004. – 368 s.
6. Sovetov B.YA. Modelirovanie sistem: Kursovoe proektirovanie: Ucheb. posobie dlya vuzov po spec. ASU / B.YA. Sovetov, S.A. YAKovlev. – M.: Vyssh. shk., 1988. – 135 s.
7. Tomashevskij V.N. Imitacionnoe modelirovanie v srede GPSS / V.N. Tomashevskij, E.G. Zhdanova. – M.: Bestseller, 2003. – 416 s.
8. SHrajber T.Dzh. Modelirovanie na GPSS / T.Dzh. SHrajber, pod red. M.A. Fajnberg. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 592 s.
9. Kudryavcev E.M. GPSS World. Osnovy imitacionnogo modelirovaniya razlichnyh sistem / E.M. Kudryavcev. – ДМК, Press 2004. – 320 s.
10. Kopp V.YA. Issledovanie funkcionirovaniya odnokomponentnoj sistemy s uchetom kalendarnoj profilaktiki / V.YA. Kopp, P.N. Florya, M.V. Zamoryonov // Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii, № 1(9), 2020. – S. 28–39.

¹*Копп Вадим Яковлевич, д.т.н., профессор, v_kopp@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,*

²*Флоря Павел Николаевич, gydra@bk.ru, Россия, Севастополь, Федеральное государственное унитарное предприятие «13 судоремонтный*

завод Черноморского флота» Министерства обороны Российской Федерации

³Заморёнов Михаил Вадимович, к.т.н., доцент,
Zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский
государственный университет

⁴Заморёнов Илья Михайлович, студент, ilia.zamoryonov@gmail.com,
Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

SIMULATION MODEL OF A SINGLE-COMPONENT SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT CALENDAR PREVENTION

V.Y. Kopp, P.N. Florya, M.V. Zamoryonov, I.M. Zamoryonov

This article develops a simulation model of a one-component system that takes into account the impact of calendar maintenance on productivity. Statistical processing of the results of a machine experiment is carried out. A judgment is made on the correctness of constructing a mathematical model of such a system by comparing the results of analytical and simulation modeling.

Keywords: Simulation model, calendar prophylaxis, machine experiment.

*Kopp Vadim Yakovlevich, doctor of technical science, professor,
v_kopp@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University,*

*Florya Pavel Nikolaevich, gydra@bk.ru, Russia, Sevastopol, Federal state
unitary enterprise "13 ship repair plant of the black sea fleet" of the Ministry of
defense of the Russian Federation*

*Zamoryonov Mikhail Vadimovich, candidate of technical science, docent,
Zamoryonoff@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University*

*Zamoryonov Ilia Mikhailovich, student, ilia.zamoryonov@gmail.com,
Russia, Sevastopol, Sevastopol state University*

УДК 681.2.083

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОХОДНЫХ
КАНАЛОВ ПЛОСКИХ ЭЖЕКТОРОВ НА СТАТИЧЕСКУЮ
ХАРАКТЕРИСТИКУ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Волошина Н.А.¹, Балакина Н.А.²

***Аннотация.** Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований статических характеристик первичных плоских эжекторных преобразователей с различным расположением проходных каналов. В результате исследования плоских эжекторов с различным расположением сопел доказана целесообразность несимметричного расположения проходных каналов преобразователя.*

***Ключевые слова.** Плоский эжектор, статическая характеристика, диапазон измерения, нелинейность.*

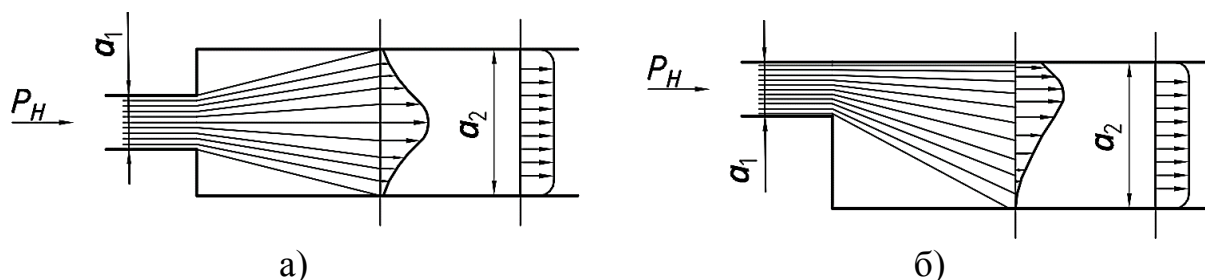
Высокая точность измерения, конструктивная простота, надежность, возможность суммирования измерительных сигналов, возможность осуществления дистанционных измерений, бесконтактных измерений и практическая незаменимость при контроле во взрывоопасных и пожароопасных средах, в условиях, когда измерительное устройство подвержено воздействию сильных магнитных, электрических, радиоактивных полей позволяют прогнозировать дальнейшее развитие пневматических приборов для измерения геометрических параметров. [1, 2, 3].

С созданием и серийным изготовлением элементов промышленной пневмоавтоматики, появились возможности для более широкого применения пневматических приборов размерного контроля, позволяющих решать различные метрологические задачи, в основу построения которых положен модульный принцип [4]. Применение элементов пневмоавтоматики позволяет расширять функциональные возможности пневматических средств измерений, упрощает их конструкцию, повышает производительность и надежность контроля.

Как известно, с изменением конструктивных параметров цилиндрических первичных пневматических преобразователей происходит изменение характера истечения воздуха в его каналах, что ведет к изменению давления в измерительной камере при постоянных диаметрах входного и выходного сопел. Пройдя входное сопло, струя воздуха начинает расширяться, образуя весьма сложную форму. В некотором сечении расширение струи завершается, однако параметры воздуха здесь существенно различны по радиусу сопла, распределение скоростей неравномерно. Выравнивание поля скоростей и давления потока, протекающего по цилиндрической трубе, происходит в

сечении трубы, отстающем в среднем на расстоянии 8...12 диаметров трубы от начального сечения.

В плоских эжекторных преобразователях чувствительный элемент вынесен за пределы измерительной камеры, поэтому физическая картина процесса истечения происходит несколько по-иному. Проходные каналы входного и выходного сопел плоского эжектора могут располагаться симметрично и несимметрично относительно друг друга (**Рис.1**).

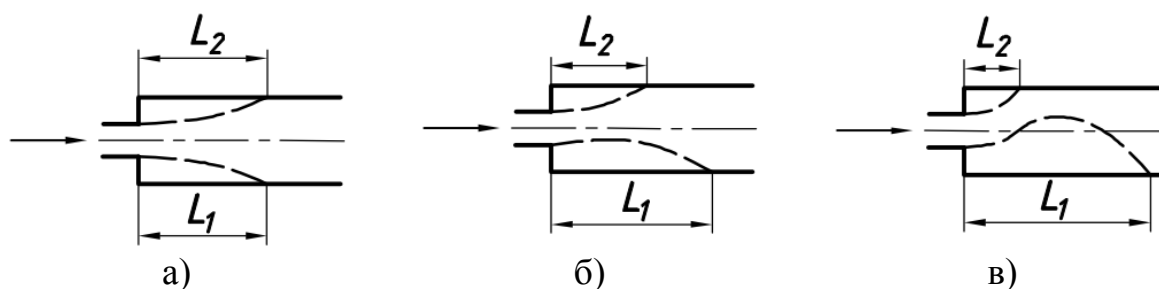


**Рис.1 – Схемы расширения струи в плоском канале
а) при двустороннем расширении, б) при одностороннем расширении**

Струя газа, распространяющаяся в плоских каналах, взаимодействует со стенками каналов и газом в камерах преобразователя. Известны различные схемы распространения струй в подобных плоских каналах [5]. Характеристика струи в плоском канале зависит от следующих факторов: степени расширения струи; относительной ширины канала; эксцентриситета струи; коэффициента трения при равномерном течении газа в канале.

При эксцентриситете струи $e=1$ имеет место двухстороннее симметричное расширение струи в канале (**Рис.1а**), при $e=0$ – одностороннее (**Рис.1б**).

Симметричное расширение струи наблюдается лишь при небольших значениях степени расширения струи, или больших величинах относительной ширины канала β' и коэффициента трения λ . В других случаях имеет место притяжения струи к одной из стенок канала, возникает сбой струи. Таким образом, при двустороннем расширении струи может возникать устойчивая (**Рис.2а**), переходная (**Рис.2б**) и сбойная (**Рис.2в**) формы течений.



**Рис.2 – Формы течения струи при двустороннем ее расширении
а) устойчивая, б) переходная, в) сбойная**

Наличие в канале переходной и сбойной форм течения способствует возникновению перескока струи и, как следствие этого явления, – изменению сигнала измерительной информации. Таким образом, представляется необходимым исследовать влияние относительного расположения проходных каналов плоского эжектора на метрологические характеристики преобразователя.

В качестве объекта исследования был принят плоский эжекторный преобразователь с выносным соплом [6]. Каждый типоразмер плоского эжектора был выполнен в трех экземплярах с симметричным и несимметричным расположением проходных каналов. В качестве выносных сопел использовались наиболее часто применяемые цилиндрические сопла, диаметром 2,0 мм и 1,5 мм проходной канал которых был выполнен по классу допуска $H7$.

Экспериментальные статические характеристики снимались на установке, собранной на жесткой стойке, обеспечивающей минимальную погрешность от деформаций, для четырех измерительных давлений: $P_H = 0,30$ МПа; $P_H = 0,25$ МПа; $P_H = 0,20$ МПа; $P_H = 0,15$ МПа. Методика проведения эксперимента описана в работе [7]. Для накопления статистических данных и повышения достоверности проведенных экспериментальных исследований статических характеристик, они снимались с трех преобразователей одного типоразмера.

На **Рис.3** представлены статические характеристики $P_h = f(z)$ плоского эжекторного преобразователя с различным расположением проходных каналов при отношении $a_2/a_1 = 1,2$.

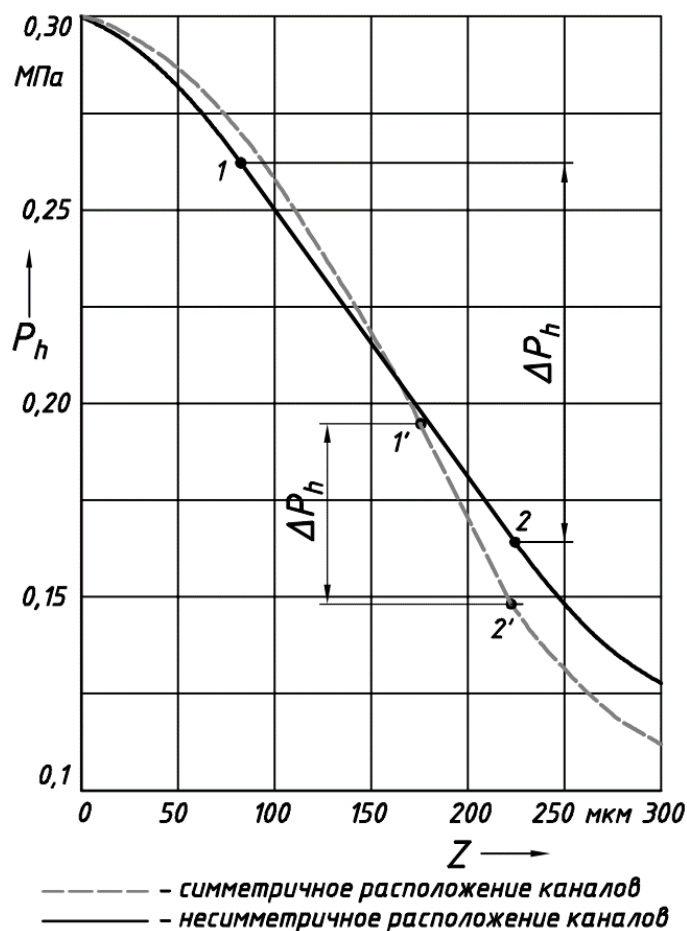


Рис.3 – Статическая характеристика $P_h = f(z)$ плоского эжекторного преобразователя

Анализ полученных экспериментальных характеристик для четырех рабочих давлений позволяет сделать следующие выводы:

- у преобразователей с симметричным расположением проходных каналов линейный участок характеристики находится в области низких давлений и его протяженность несколько меньше, чем линейный участок у преобразователей с несимметричным расположением каналов;
- при одинаковом диапазоне измерений (**Рис.4**) нелинейность характеристики преобразователя с симметричным расположением каналов в 3...5 раз больше, чем у преобразователей с несимметричным расположением каналов;
- величина максимального зазора больше у преобразователей с несимметричным расположением каналов.

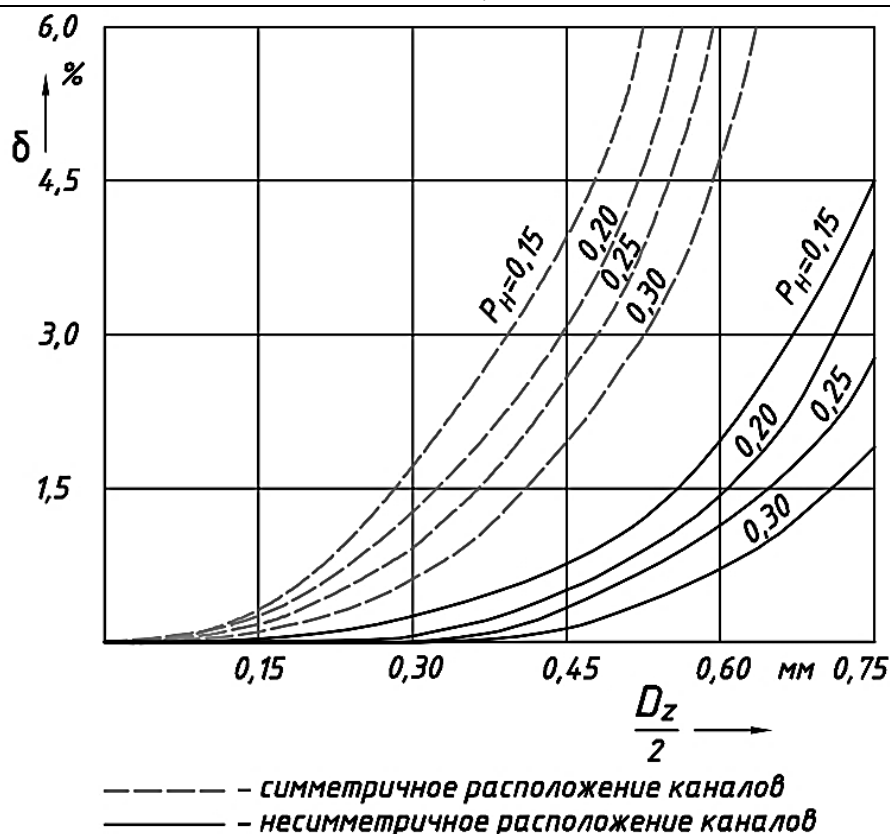


Рис.4 – Зависимость нелинейности характеристики δ от диапазона измерения D_z

Таким образом, при построении пневматических приборов автоматического контроля при одновременном обеспечении высокой точности измерений и больших пределов измерений, рекомендуется применять плоские эжекторы с несимметричным расположением проходных каналов.

Библиографический список

1. Дневник науки [Электронный ресурс]. – Анализ современного состояния пневматических средств измерения линейных величин в машиностроении – Научно-исслед. журнал «Дневник науки», 2017, №4. URL: http://www.dnevniknauki.ru/images/publications/2017/4/technics/Plakida_Voloshina.pdf.
2. Плакида С.И. Пневматические измерения геометрических параметров и перспектива их развития / С.И. Плакида, Н.А. Волошина // материалы междунар. науч.-техн. конф. «Автоматизация, приборостроение: проблемы, решения» Севастополь (11-15 сент. 2017 г.), 2017. – С. 107–108.
3. Пат. 2464530 Рос. Федерация.МПК G01B013/00, B07C005/00. Контрольно-сортировочный комплекс / Мурашов В.М., Шигалева А.И., Мишкин А.В., Филиппов А.П.; заявитель и патентообладатель ЗАО "РС-Лизинг" (RU) – № 2010146512/28; заявл. 15.11.2010; опубл. 20.10.2012.

4. Куратцев Л.Е. Приборы размерного контроля на элементах пневмоавтоматики / Л.Е. Куратцев, И.М. Цырульников. – М.: Машиностроение, 1977. – 134 с.
5. Лебедев И.В. Элементы струйной автоматики / И.В. Лебедев, С.Л. Трескунов, В.С. Яковенко. – М.: Машиностроение, 1973. – 323 с.
6. А. с. 1469347 СССР: МКИ G 01 B 13/00.Плоский дроссельно-эжекторный преобразователь линейного размера / Н.А. Волошина (СССР) – №4301102/25-28; заявл. 24.08.87; опубл. 30.03.89, Бюл. 12. –2 с.: ил.
7. Волошина Н.А. Исследование статических характеристик плоских эжекторных преобразователей с двумя выносными соплами / Н.А. Волошина, А.П. Васютенко // Научный журнал «Автоматизация и измерения в машино-приборостроении», №4 (8), 2019. – С. 81–88.

Bibliograficheskiy spisok

1. Dnevnik nauki [Elektronnyj resurs]. – Analiz sovremennogo sostoyaniya pnevmaticheskikh sredstv izmereniya linejnyh velichin v mashinostroenii – Nauchno-issled. zhurnal «Dnevnik nauki», 2017, №4. URL: http://www.dnevniknauki.ru/images/publications/2017/4/technics/Plakida_Voloshina.pdf.
2. Plakida S.I. Pnevmaticheskie izmereniya geometricheskikh parametrov i perspektiva ih razvitiya / S.I. Plakida, N.A. Voloshina // materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Avtomatizaciya, priborostroenie: problemy, resheniya» Sevastopol' (11-15 sent. 2017 g.), 2017. – С. 107–108.
3. Pat. 2464530 Ros. Federaciya.MPK G01B013/00, B07C005/00. Kontrol'no-sortirovochnyj kompleks / Murashov V.M., SHigaleva A.I., Mishkin A.V., Filippov A.P.; zayavitel' i patentoobladatel' ZAO "RS-Lizing" (RU) –№ 2010146512/28; zayavl. 15.11.2010; opubl. 20.10.2012.
4. Kuratcev L.E. Pribory razmernogo kontrolya na elementah pnevmoavtomatiki / L.E. Kuratcev, I.M. Cyrul'nikov. – М.: Mashinostroenie, 1977. – 134 s.
5. Lebedev I.V. Elementy strujnoj avtomatiki / I.V. Lebedev, S.L. Treskunov, V.S. YAkovenko. – М.: Mashinostroenie, 1973. – 323 s.
6. А. с. 1469347 SSSR: МКИ G 01 B 13/00.Пloskij drossel'no-ezhektornyj preobrazovatel' linejnogo razmera / N.A. Voloshina (SSSR) – №4301102/25-28; zayavl. 24.08.87; opubl. 30.03.89, Byul. 12. –2 s.: il.
7. Voloshina N.A. Issledovanie staticheskikh harakteristik ploskih ezhektornyh preobrazovatelej s dvumya vynosnymi soplami / N.A. Voloshina, A.P. Vasyutenko // Nauchnyj zhurnal «Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii», №4 (8), 2019. – S. 81–88.

¹Волошина Наталья Александровна, к.т.н., доцент,
NAVoloshina@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский
государственный университет

²Балакина Наталья Анатольевна, старший преподаватель,
NABalakina@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный
университет

*STUDY OF THE INFLUENCE OF THE LOCATION OF THE FLOW
CHANNELS OF FLAT EJECTORS ON THE STATIC CHARACTERISTIC OF THE
CONVERTER*

N.A. Voloshina, N.A. Balakina

The theoretical and experimental research results of the static characteristics of primary plane ejector transducers with different passage channels locations are presented. As an outcome of the flat ejectors study with different nozzle arrangements, the asymmetric arrangement expediency of the converter flow channels was proved.

Keywords: flat ejector, static characteristic, measuring range, non-linearity.

*Voloshina N.A., candidate of technical sciences, docent,
NAVoloshina@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University*

*Balakina N.A., senior lecturer, NABalakina@sevsu.ru, Russia, Sevastopol,
Sevastopol State University*

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО-ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Научный журнал
Выпуск №1(13) 2021 г.

16+

Рубрики в соответствии с номенклатурой научных специальностей:

- 05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление
- 05.11.00 Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы
- 05.02.00 Машиностроение и машиноведение

Адрес редакции:

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33.

Телефон редакции: 8(692)550077

<https://www.sevsu.ru/nauka/pechat-izdaniya/item/3655-avtomatizatsiya-i-izmereniya-v-mashinopriborostroenii>

e-mail: appr.sevgu@yandex.ru

Отпечатано в издательстве СевГУ.

Публикуемые материалы прошли обязательную процедуру рецензирования и экспертного отбора. Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, данных, имен собственных и прочих сведений.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с позицией авторов статей. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Автоматизация и измерения в машино-приборостроении» обязательна.

Учредитель и издатель

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» ул. Университетская, 33.
Севастополь, 299053.

№ рег. СМИ: ПИ№ФС77-73958 от 12.окт. 2018 г.

Главный редактор: Копп Вадим Яковлевич

Подписано к печати 23.03.2021. Заказ 017К. Дата выхода в свет: 29.03.2021. Тираж: 50 экз.
Цена: Бесплатно. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Объем усл. печ. л. 11,4.

Севастополь, 2021