

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

№2(14)
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., доц.
(г. Севастополь)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ

- Карлов А.Г., Шпаковский Н.А.** Повышение надёжности работы оборудования для нанесения токопроводящего слоя на поверхность микросхемы на основе применения программного продукта solving mill 2.0. 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Сергеев Н.О., Шевченко В.И., Ченгарь О.В.** Концептуальная модель программного модуля идентификации объекта автоматического управления по временным характеристикам 15
- Крамарь В.А., Крамарь О.А.** Сетевая система обмена видеоданными сервисного робота и оператора 27
- Копп В.Я., Флоря П.Н., Владимиров Е.С., Чаленков Н.И.** Анализ функционирования однокомпонентной системы с непрерывной профилактикой методом путей 40
- Моисеев Д.В., Шокин А.Г., Серяк Е.С.** Вероятностное кодирование с множественным исправлением ошибок 51
- Копп В.Я., Флоря П.Н., Заморёнов М.В., Малицкая А.А.** Имитационная модель однокомпонентной системы с непрерывной профилактикой 59
- Бохонский А.И.** Оптимальное переносное движение системы с двумя степенями свободы 66
- Прейс В.В., Заморёнов М.В., Чаленков Н.И.** Имитационное моделирование процесса функционирования двух последовательно соединённых производственных элементов 74
- Моисеев Д.В., Поляков А.А.** Комплекс методик декомпозиции структурно-сложных систем различного назначения 80
- Филипович О.В., Невар Г.В.** Имитационная модель процесса селективной сборки резбовых элементов по посадкам с натягом 89

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ

- Пашков Е.В.** Портативный переносной автоматический реаниматор для восстановления сердечно-легочной деятельности 99

УДК 658.512.2(075.8)

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ
НАНЕСЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ
МИКРОСХЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО
ПРОДУКТА SOLVING MILL 2.0**

Карлов А.Г.¹, Шпаковский Н.А.²

***Аннотация.** Дан анализ особенностей работы оборудования для нанесения токопроводящего слоя на поверхность микросхемы. Представлены процедуры и результаты применения софта Solving Mill 2.0 при модернизации установки для производства микросхем. Рассматриваются задачи, когда, частички металлов оседают на стенках конечной части трубопровода и стенках капилляров. Это приводит к забиванию капилляров и остановке работы устройства. Применение алгоритма исправления проблемных ситуаций (АИПС) и ресурсов софта Solving Mill 2.0 позволило найти приемлемые варианты решения и повысить надёжность функционирования автоматизированного оборудования.*

***Ключевые слова.** Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), Общая теория сильного мышления (ОТСМ), Алгоритм исправления проблемных ситуаций (АИПС), нежелательный эффект, вредный продукт, моделирование полезной системы, капиллярный диск, ультразвуковая вибрация.*

Целью настоящего исследования является анализ возможностей применения софта Solving Mill 2.0 в процессе работы над проблемой повышения надёжности функционирования автоматизированного оборудования производства микросхем.

Данная статья продолжает 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 [1–7].

Рассмотрим некоторые из процедур и результатов применения софта Solving Mill 2.0 в процессе решения задач повышения надёжности

функционирования автоматизированного оборудования производства микросхем.

Проблемную ситуацию в достаточно свободной форме можно описать так. Исследуемое оборудование предназначено для нанесения токопроводящего слоя на поверхность микросхемы. Оборудование устроено следующим образом (**Рис.1**). Емкость с раствором содержит раствор BST (сегнетоэлектрический твердый раствор титаната бария-стронция $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$), представляющий собой трехкомпонентную взвесь мельчайших частичек металлов в растворителе. В емкости над раствором может создаваться давление, а в нижней части емкости установлен тонкий трубопровод, оканчивающийся капиллярным диском. Диск установлен в камере нагрева, содержащей нагреватель и вход для подачи газообразного азота. Камера нагрева связана с рабочей камерой посредством рукава. В рабочей камере установлено основание, на котором располагается заготовка микросхемы. К рабочей камере присоединен вакуумный насос.

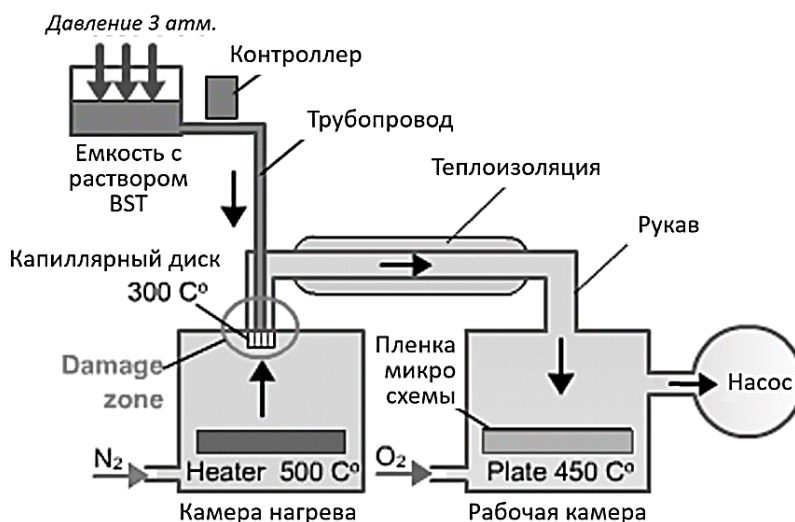


Рис.1 – Промышленная установка для нанесения токопроводящего слоя на поверхность микросхемы

Работает установка следующим образом. Под давлением воздуха в емкости раствор BST поступает в трубопровод, и, далее, к капиллярному диску. В капиллярном диске раствор расходится по капиллярам для облегчения испарения растворителя. Снизу в капиллярный диск подается поток азота, нагретого до 300 градусов Цельсия. Горячий азот испаряет растворитель, подхватывает частички металлов, и подает их в рукав. Далее частички металла подаются в рабочую камеру.

В рабочей камере частички металла попадают на поверхность микросхемы, на которой предварительно установлен шаблон для правильного расположения осаживаемого слоя. В нижней части рабочей

камеры предусмотрена подача кислорода, который взаимодействует с частичками металла и спекает их в единое целое, образуя пленку. В верхней части рабочей камеры установлен вакуумный насос, который отсасывает пары растворителя и рабочие газы, и обеспечивает необходимый вакуум в зоне расположения заготовки микросхемы.

Проблема состоит в том, что срок службы устройства недостаточен, происходит забивание частичками металла в виде твердого осадка капиллярного диска и конечной части трубопровода. Надёжность подобного устройства недостаточна. Как устранить забивание твердым осадком капиллярного диска и конечной части трубопровода?

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. В данной ситуации решения ответ последовал «да».

В этом случае необходимо составить условие задачи по следующей схеме. Система для подачи и распределения взвеси металлов состоит из трубопровода и капиллярного диска. При нормальном ходе дела система работает следующим образом.

Взвесь металлов подается под давлением через трубопровод, попадает в капиллярный диск, и распространяется по всему объему капиллярного диска (**Рис.2**).

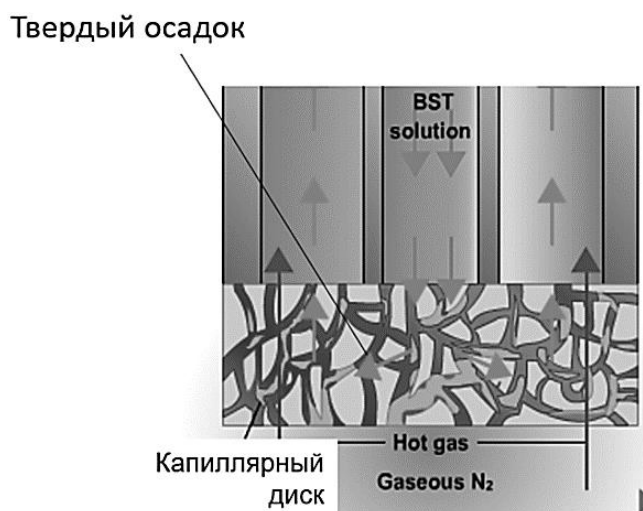


Рис.2 – Оперативная зона – подача раствор BST в капиллярный диск

Поток горячего азота подается снизу капиллярного диска, испаряет растворитель, подхватывает частички металлов и транспортирует их в рукав. Далее частички металлов поступают в рабочую камеру.

При этом возникает проблема. Частицы металлов оседают на стенках конечной части трубопровода и стенках капилляров. Такая ситуация приводит к забиванию капилляров и остановке работы устройства.

Далее софт рекомендует решателю определить доступные ресурсы.

Пространственные ресурсы (оперативная зона - ОЗ) – в контексте проблемы это пространство, включающее нижнюю (конечную) часть трубопровода и капиллярный диск (**Рис.2**).

Временные ресурсы (оперативное время - ОВ) – это всё время работы устройства.

Вещественные ресурсы – это тонкий трубопровод, рукав, капиллярный диск, раствор BST, газообразный азот (**Рис.2**). Полевые ресурсы – это тепловое поле, механическое поле потока азота (в терминологии ОТСМ-ТРИЗ).

Следующий шаг софта: предложите решение задачи наилучшим известным или самым простым способом.

Задача неоднократно решалась специалистами компании-разработчика оборудования. При этом были предложены следующие решения:

- Изменить диаметр капилляров, например, увеличить его.
- Повысить густоту капилляров, сделать стенки между ними тоньше.
- Оптимизировать параметры капилляров.
- Сделать стенки капилляров из наиболее скользкого материала.
- Использовать сильные растворители для прочистки капилляров.
- Сделать шлюз для замена капиллярного диска без потери вакуума.
- Изменить параметры раствора (это невозможно, нарушение технологии).

Софт задаёт вопрос: «Устраивает ли это решение?». Ответ решателя – «нет». Почему же решателя не устраивает ни одно из предложенных решений?

Софт предлагает несколько вариантов ответа: 1. Нет вообще минимально приемлемого решения; 2. Возникают проблемы с требуемым действием; 3. При реализации решения ухудшается другой параметр системы; 4. Возникает противоречие к компоненту системы.

Решатель выбирает 4-й вариант ответа. В этом случае, согласно алгоритму решения, необходимо сформулировать модель задачи как «Физическое противоречие». Если обратить внимание на идею решения «Изменить диаметр капилляров», например, увеличить его, то оно кажется целесообразным. Действительно, если капилляры будут больше по своему диаметру, то они станут реже забиваться твердым осадком до полной непроходимости раствора. Но увеличивать размер проходного сечения

капилляров нельзя, поскольку нарушится принцип работы капиллярного диска.

Тогда возникает такой вариант формулировки физического противоречия: «Диаметр капилляров должен быть большим, чтобы они медленнее забивались, но при этом диаметр капилляров должен быть маленьким (технологическое требование)»!

Софт спрашивает решателя на этом шаге алгоритма: «К какому атрибуту компонента относится требование?». И предлагает варианты ответов: 1. Размер, форма, положение; 2. Поверхность; 3. Внутренняя структура, материал; 4. Динамичность; 5. Управляемость.

Решатель выбирает атрибут «Размер, форма, положение». Далее нужно определиться и выбрать тип противоречия из перечня: 1. Противоречивые значения параметра требуются в одном и том же месте; 2. Противоречивые значения параметра требуются в одно и то же время; 3. Противоречивые значения параметра требуются в одном и том же месте в одно и то же время. Корректным в контексте проблемы является вариант первый.

Следующая подсказка софта – «Выберите подходящее преобразование» из следующих вариантов: 1. Обеспечить различные форму, размер или положение компонента в разные промежутки времени; 2. Соединить части компонента шарнирами или гибкими связями, чтобы его можно было складывать или сворачивать; 3. Выполнить компонент вакуумированным, надувным или гидронаполняемым; 4. Выполнить компонент из легкосжимаемых и расширяющихся материалов, использование памяти формы. Решатель выбирает первый вариант.

Далее следует шаг выбора «Модели решения».

Для разрешения противоречия, связанного с атрибутом размер/форма/положение, софт рекомендует разнести противоречащие значения параметра во времени. Затем следует указать, как это преобразование может быть применено для решения данной задачи. Решатель из предлагаемых вариантов выбирает использования вибрации.

После этого софт задаёт решателю два типовых вопроса: «Требуется ли преобразовать систему?». Ответ решателя «нет».

Требуется ли дополнительно преобразовать компоненты системы? Ответ решателя также «нет».

И на этом шаге алгоритма уже появляется возможность сформулировать предварительное решение проблемы.

Для разрешения противоречия, связанного с атрибутом размер/форма/положение, разнести противоречащие значения параметра во времени. Для этого: «Путем использования вибрации».

Если перевести с «компьютерного языка», то предварительное решение проблемы можно сформулировать таким образом.

Для предупреждения возникновения твердого осадка на стенках капилляров и на стенке конечной части трубопровода можно применить вибрацию. Воздействие вибрации приложить или к капиллярному диску, или к конечной части трубопровода.

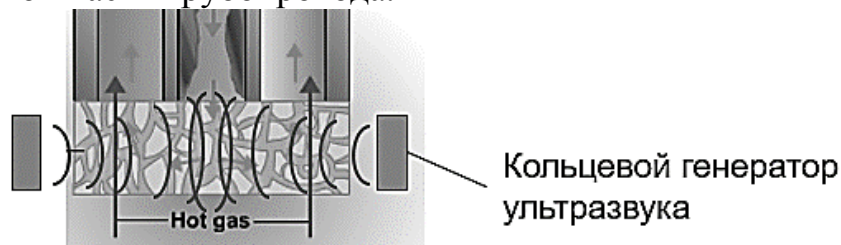


Рис.3 – Оперативная зона – вариант 1 предварительного решения

Специалисты компании-разработчика оборудования для проверки варианта 1 предварительного решения проблемы провели эксперимент. Результаты этого эксперимента показали, что применение ультразвуковой вибрации способствует удалению твердого осадка со стенок капилляров и предупреждению его возникновения. Однако, для обеспечения удовлетворительного времени работы устройства необходимо применить ультразвук высокой мощности, который разрушает не только осадок, но и сам материал капилляра.

После оценки результатов эксперимента решатель продолжил диалог с программным продуктом с этого же шага. При этом решателю софт задал такой вопрос: «Данное решение устраивает?». Естественно, что решатель ответил «нет».

Следующий вопрос алгоритма: «Почему не устраивает решение?». Варианты ответа софта: 1. Нет вообще минимально приемлемого решения; 2. Возникают проблемы с требуемым действием; 3. При реализации решения ухудшается другой параметр системы; 4. Возникает противоречие к компоненту системы.

Решатель считает корректным вариант ответа №3. Алгоритм программы подсказывает, что далее следует выбрать формулировку модели задачи «Техническое противоречие».

При улучшении параметра «Производительность капиллярного диска» благодаря применению мощной ультразвуковой вибрации, диск начинает разрушаться, то есть недопустимо ухудшается параметр «Приспособленность диска к новым условиям работы».

Софт предлагаем выбрать один из инструментов решения. Это может быть «Матрица выбора приёмов разрешения технических противоречий («Матрица Г. С. Альтшуллера»))» или «Оператор TI-трансформер».

В «Операторе TI-transformer» (TI – Target Invention) классический набор из 40 типовых приёмов Альтшуллера для модели задачи «Техническое противоречие» переработан и структурирован в зависимости от содержания предлагаемых преобразований. Преобразования в зависимости от объекта преобразования разделены на следующие группы: введение нового компонента в систему; преобразование компонента системы; преобразование действия; преобразование системы в целом; специальные преобразования для частных случаев (например, введение пены или применение вакуума) [2,5,6,7].

Согласно выбранному эксплуатационному параметру и выбранному содержанию преобразований оператор TI-transformer предлагает набор способов преобразования, основанных на приёмах разрешения технических противоречий. Каждый приём проиллюстрирован примерами.

В контексте решения проблемы повышения надёжности установки Solving Mill 2.0 на текущем шаге алгоритма предлагает ответить на вопрос: «Какой параметр ухудшился?». Однозначный ответ решателя: «Приспособленность диска к новым условиям работы».

Далее шаг алгоритма с вопросом: «На какой эксплуатационный параметр системы влияет ухудшение указанного параметра?». Варианты ответа: 1. Производительность; 2. Надёжность 3. Качество продукта 4. Адаптивность 5. Экономичность 6. Управляемость 7. Простота.

Далее, следуя алгоритму применения инструмента «Оператор TI-трансформер», нужно принять решение и выбрать из списка возможных преобразований.

Для улучшения указанного параметра используйте преобразование: 1. Преобразовать компонент системы; 2. Ввести новый компонент в систему 3. Преобразовать действие в системе 4. Преобразовать систему 5. Специальное преобразование.

Затем следует уточнить способ преобразования: 1. Разделить компонент на части или увеличить степень дробления; 2. Сделать компонент динамичным; 3. Использовать принцип «наоборот»; 4. Изменить физико-химические параметры компонента; 5. Привести компонент в колебательное движение; 6. Изменить оптические свойства компонента; 7. Обеспечить нужное свойство в части компонента; 8. Перейти от симметричной формы компонента к асимметричной.

На этом шаге решатель должен выбрать «Модель решения». Выбор следующий. Для улучшения параметра «Приспособленность диска к новым условиям работы» следует разделить компонент на части или увеличить степень дробления.

И далее вопрос и варианты решения от софта. Какой компонент системы можно преобразовать указанным способом? Тонкий трубопровод,

рукав, капиллярный диск, раствор BST, газообразный азот, или вариант, что ни один компонент не подходит.

Какие же атрибуты компонента «капиллярный диск» и как нужно преобразовать?

Размер. Размер части, на которые нужно разделить капиллярный диск должен быть маленьким. Вообще-то, частичка не должна включать капилляры, они могут образовываться между частичками, на которые разделен диск. Вывод, размер – это толщина стенки между капиллярами.

Форма. При работе частицы будут тереться друг о друга, это обеспечит хорошую очистку от твердого осадка. Тут есть аналогия с морской галькой, которая трется друг о друга и принимает скругленную форму.

Вывод: элементы, на которые разделен капиллярный диск, должны иметь форму сферы, мелких шариков.

Поверхность – твердая гладкая.

Внутреннее пространство.

Материал должен выдерживать температуру 500 градусов Цельсия.

Динамичность – элементы должны свободно перемещаться друг относительно друга.

Управляемость – потоком газообразного азота или наложенным ультразвуковым полем.

Следующие вопросы от софта. Требуется ли преобразовать систему? Ответ «нет». Требуется ли дополнительно преобразовать компоненты системы? Ответ «да».

Нужны ли преобразования компонентов? Тонкий трубопровод, рукав, раствор BST, газообразный азот не нуждаются в этом.

Решатель предложил следующим образом преобразовать капиллярный диск. Заключить раздробленный капиллярный диск в сетчатую коробочку.

И далее софт позволяет выполнить очередной шаг и сформировать «Предварительное решение».

Для улучшения параметра «Приспособленность диска к новым условиям работы» разделить компонент на части или увеличить степень дробления. Для этого: «Путем использования вибрации». Размер: «Размер части, на которые нужно разделить капиллярный диск должен быть маленьким». Вообще-то, частичка не должна включать часть капилляров, они могут образовываться между частичками, на которые разделен диск. Вывод. Размер - это толщина стенки между капиллярами. Форма: «При работе частицы будут тереться друг о друга, это обеспечит хорошую очистку от твердого осадка». Тут есть аналогия с морской галькой, которая трется друг о друга и принимает скругленную форму.

Вывод: элементы, на которые разделен капиллярный диск должны иметь форму сферы, мелких шариков. Поверхность: твердая гладкая
Материал: выдерживать температуру 500 градусов Цельсия
Динамичность: элементы должны свободно перемещаться друг относительно друга
Управляемость: потоком газообразного азота или наложенным ультразвуковым полем.

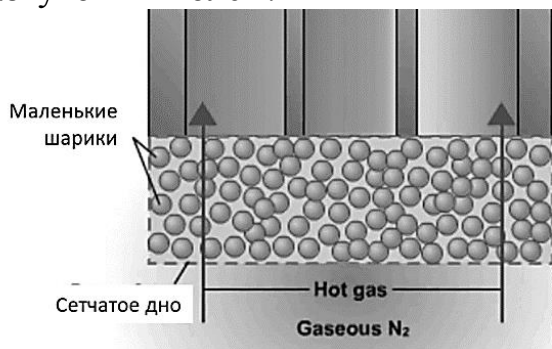


Рис.4 – Оперативная зона – вариант 2 предварительного решения

Если перевести с «компьютерного языка», то это предварительное решение проблемы можно сформулировать таким образом.

Выполнить капиллярный диск в виде твердых маленьких шариков, расположенных в коробочке с сетчатым дном и крышкой (**Рис.4**).

Софт здесь задаёт вопрос решателю. Данное решение устраивает? Ответ «да».

Далее следует рекомендация софта. **Сформулируйте финальное решение.** Объединив оба предварительных решения, мы получаем следующее:

Выполнить капиллярный диск в виде твердых маленьких шариков, расположенных в коробочке с сетчатым дном и крышкой. Приложить к стенкам коробочки ультразвуковые колебания (Рис.5).

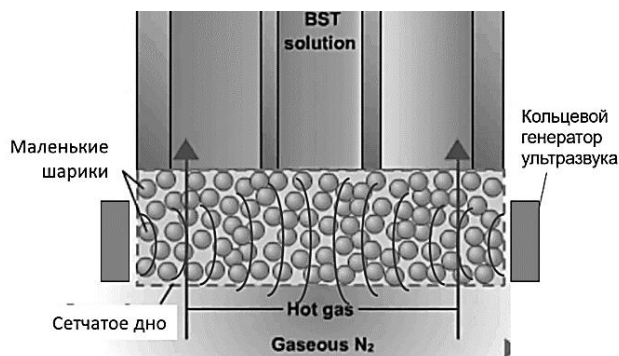


Рис.5 – Оперативная зона – комбинация двух предварительных решений

Завершение проекта

Решение завершено – поздравляем! В отчёте по проекту представлены все найденные решения в виде автоматически сгенерированной патентной формулы.

Выводы:

1. Проектирование оборудования инновационного уровня для нанесения токопроводящего слоя на поверхность микросхемы требует от конструкторов и технологов оперативность и навыки нетривиального мышления. Применение типовых решений, копирование близких аналогов автоматизированного оборудования, как правило, не дают возможности получать глобально конкурентоспособные изделия и технологии.
2. Приведенный в статье пример применения программного продукта Solving Mill 2.0. позволяет лучше понять алгоритмы поиска изобретательских решений, закрепить применение инструментов поиска и формулирования нетривиальных решений.

Библиографический список

1. Карлов, А.Г. Процедуры и результат применения софта Solving Mill 2.0 при модернизации установки для производства пластиковых гранул / А.Г. Карлов, Н.А. Шпаковский // Научный журнал «Автоматизация и измерения в машино- приборостроении», №1(13), 2021, С. 22-33.
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., Шпаковский Н.А. 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. Karlov, A.G. Procedury i rezul'tat primeneniya softa Solving Mill 2.0 pri modernizacii ustanovki dlya proizvodstva plastikovyh granul / A.G. Karlov, N.A. SHpakovskij // Nauchnyj zhurnal «Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii», №1(13), 2021, S. 22-33.
2. SHpakovskij, N.A. OTSM-TRIZ: podhody i praktika primeneniya : ucheb. posobie / N.A. SHpakovskij. — M.: 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., SHpakovskij N.A. 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 — M.: 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, Беларусь, Минск, Target Invention Ltd*

IMPROVING THE RELIABILITY OF THE EQUIPMENT FOR APPLYING A CONDUCTIVE LAYER TO THE SURFACE OF THE CHIP BASED ON THE APPLICATION OF THE SOFTWARE PRODUCT SOLVING MILL 2.0.

A.G. Karlov, N.A. Shpakovsky

An analysis of the operation features of the equipment for applying a conductive layer to the surface of the chip is presented. The procedures and results of the application of the software Solving Mill 2.0, when upgrading the plant for the production of chips, are presented. The problems when metal particles settle on the walls of the final part of the pipeline and the walls of the capillaries are considered. This leads to clogging of the capillaries and stopping

the operation of the device. The use of the problem correction algorithm (AIPS) and the resources of the Solving Mill 2.0 software allowed us to find acceptable solutions to problems and improve the reliability of the functioning of automated equipment.

Key words: theory of inventive problem solving (TRIZ), General Theory of Strong Thinking(OTSM), Algorithm for correcting problem situations(AIPS), undesirable effect, harmful product, modeling of a useful system, capillary disk, ultrasonic vibration.

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

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО ВРЕМЕННЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Сергеев Н.О.¹, Шевченко В.И.², Ченгарь О.В.³

***Аннотация.** В данной статье рассматривается проектирование концептуальной модели программного модуля, позволяющего получить математическое описание объекта автоматического управления, находящегося в условиях неопределенности, а именно, под воздействием шумов за счет реализации и использования средств и методов идентификации параметров звена управления по временным характеристикам, в частности, полученной в ходе эксперимента кривой переходного процесса (кривой разгона).*

***Ключевые слова.** Концептуальная модель, программный модуль, математическое моделирование, объект управления, идентификация, аппроксимация*

Введение и постановка задачи. Одним из активно развивающихся направлений исследований в области теории автоматического управления является построение точного математического описания объекта в процессе его эксплуатации. Проектирование сложных промышленных систем автоматического регулирования или управления требует составления модели будущего объекта, что напрямую связано с исследованием и настройкой его параметров. Качество регулирования, выполняемого проектируемым объектом, напрямую зависит от точности сформированной модели объекта и точности определения его параметров, что, в свою очередь, зависит от четко сформулированного математического описания объекта.

Данный процесс связан с рядом сложностей, среди которых наиболее значимыми являются:

- Различные возмущающие воздействия, действию которых подвергается объект исследования;
- Изменение собственных параметров объекта ввиду его износа с течением времени в ходе эксплуатации.

Данные проблемы существенно затрудняют процесс формирования математического описания объекта управления с использованием существующих методов и программных средств.

Указанные особенности позволяют обосновать целесообразность постановки задачи идентификации параметров объекта в условиях неопределенности (временного износа параметров и действия возмущающих воздействий).

Одним из главных ограничений существующих методов решения данной задачи является отсутствие специально разработанного программного обеспечения, позволяющего решать конкретно поставленную задачу.

Таким образом, задача разработки и исследования способов, методов и программных средств идентификации объекта управления на основе его временных характеристик является актуальной и практически значимой [1].

Концептуальная модель приложения. Процесс проектирования программного обеспечения начинают с определения структурных компонентов и связей между ними. Структурная схема, отражающая состав и взаимодействие по управлению частей разрабатываемого приложения, в общем виде представлена на **Рис.1**.

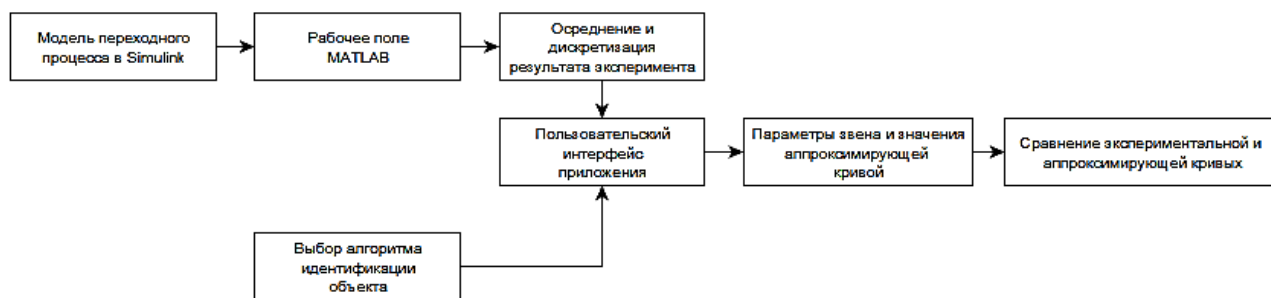


Рис.1 – Общий вид структурной схемы разрабатываемого приложения

Взаимодействие программы с пользователем осуществляется с помощью интерфейса, реализованного средствами языка C# при помощи редактора кода Microsoft Visual Studio [2].

Блок «Выбор алгоритма идентификации объекта» включает в себя методы, реализующие идентификацию объекта управления при помощи аппроксимации дифференциальным уравнением или методом площадей [3]. Блок «Пользовательский интерфейс приложения» получает на вход данные из рабочего поля MATLAB [4], представляющие собой набор дискретных значений экспериментально полученной кривой переходного процесса.

Выходом данного блока являются рассчитанные параметры идентифицированного объекта, а также набор дискретных значений кривой, с помощью которой можно аппроксимировать кривую переходного процесса, полученную в результате моделирования переходного процесса. Эти данные поступают на блок «Сравнение экспериментальной и

аппроксимирующей кривых», в котором рассчитывается погрешность аппроксимации, проверяется адекватность модели и выполняется построение графиков переходного процесса полученных в ходе эксперимента и после выполнения идентификации объекта.

Вторым этапом разработки концепта будущего приложения стало определение доступных вариантов использования системы. В качестве средства описания структуры будущей системы используется современное средство визуального моделирования: язык UML.

UML (Unified Modeling Language, Унифицированный язык моделирования) представляет собой объектно-ориентированный язык моделирования, обладающий следующими основными характеристиками:

- Является языком визуального моделирования, который обеспечивает разработку репрезентативных моделей для организации взаимодействия заказчика и разработчика информационных систем (ИС), различных групп разработчиков ИС;
- Содержит механизмы расширения и специализации базовых концепций языка.

UML — это стандартная нотация визуального моделирования программных систем, принятая консорциумом Object Managing Group (OMG) осенью 1997 г., и на сегодняшний день она поддерживается многими объектно-ориентированными CASE-продуктами [5].

Для наиболее полной проработки сценариев проектируемой системы наилучшим образом подходят следующие диаграммы языка UML: диаграмма вариантов использования и диаграмма деятельности, предназначенная для моделирования поведения системы в рамках различных вариантов использования или моделирования деятельности на основе указания потоков управления и потоков данных.

Основные варианты использования системы представлены на **Рис.2.**

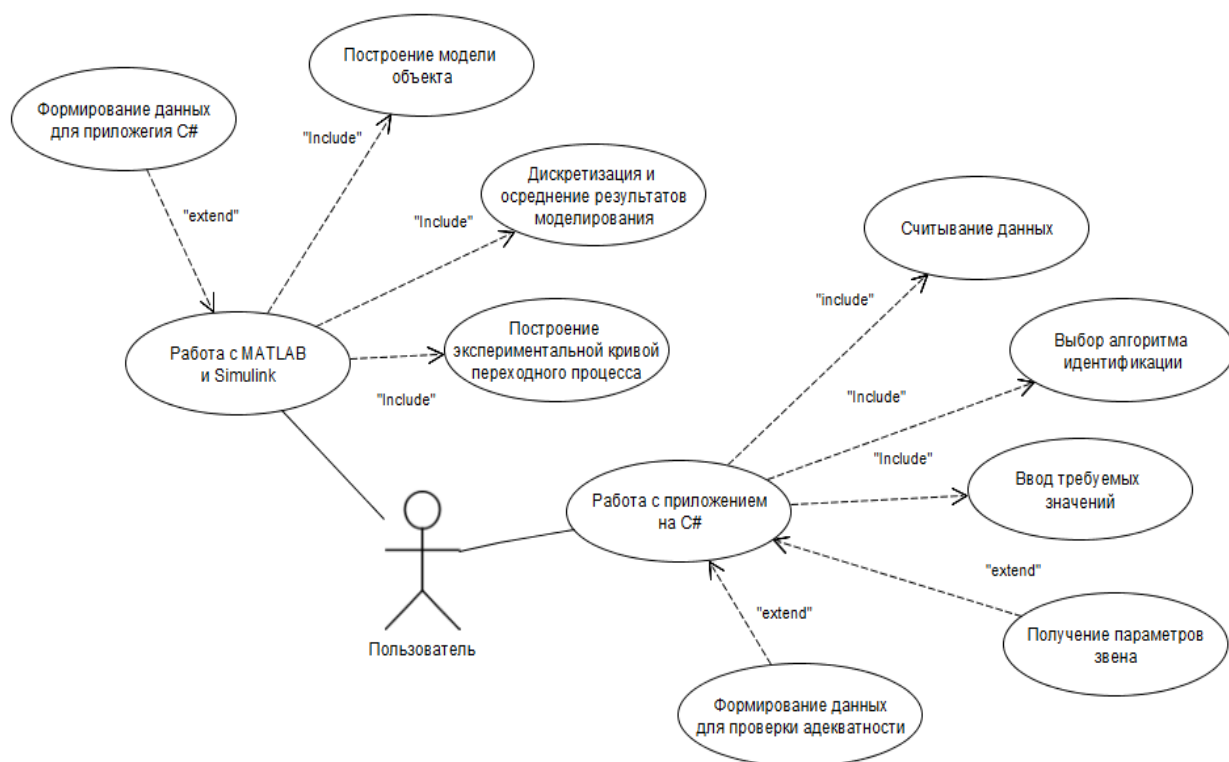


Рис.2 – UML-диаграмма вариантов использования системы

Алгоритм исполнения каждого из основных вариантов использования отражен в виде соответствующих диаграмм деятельности на **Рис.3.** и **Рис.4.**



Рис.3 – Диаграмма деятельности варианта использования «Работа с MATLAB и Simulink»

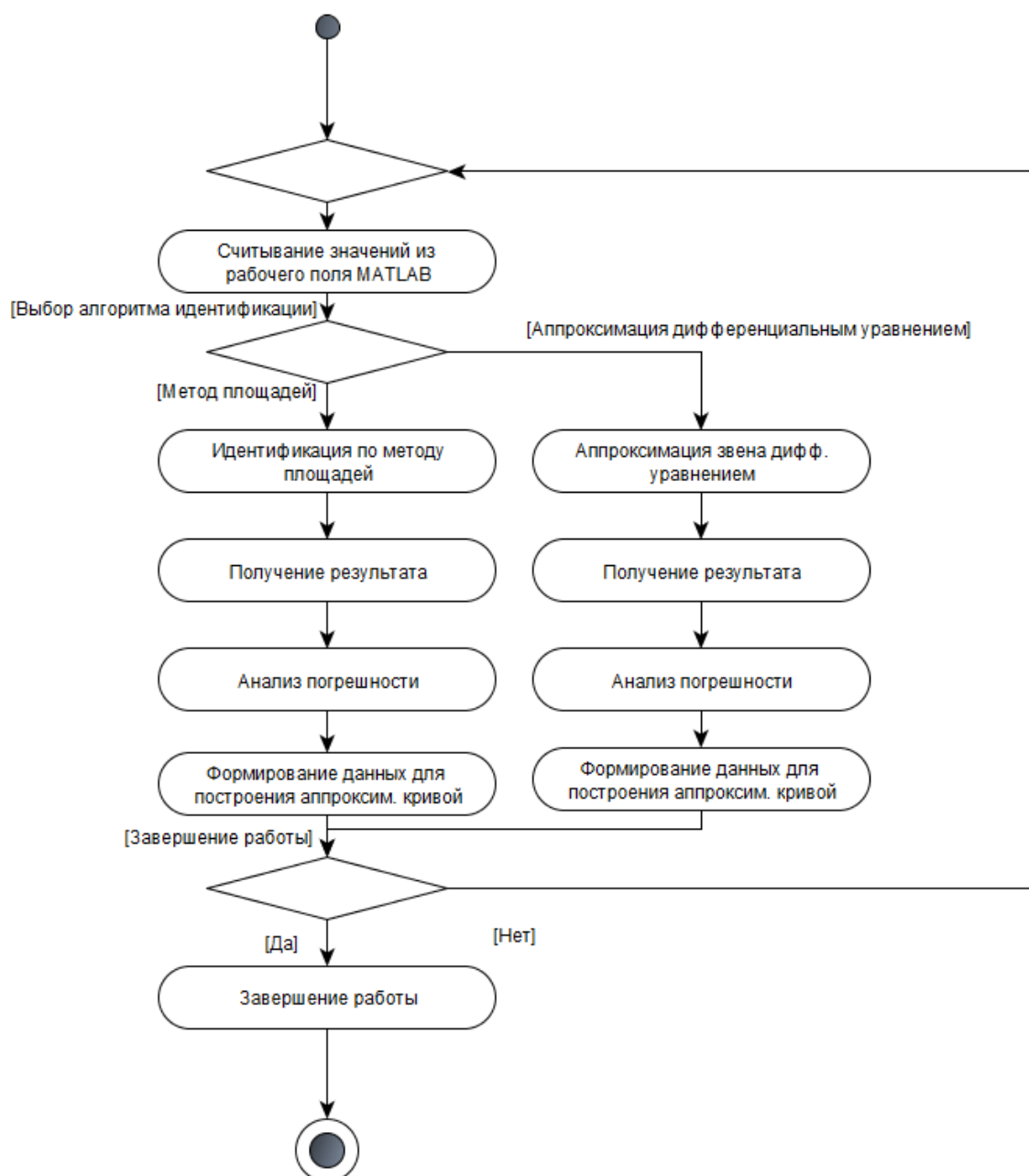


Рис.4 – Диаграмма деятельности варианта использования «Работа с приложением C#»

При проектировании пользовательского интерфейса требуется соблюдение стандарта GUI (Graphical User Interface), который основан на следующих основных принципах:

- Использование объектов графической среды, позволяющих пользователю выполнять операции с помощью периферийных устройств компьютера – мыши и клавиатуры;

- Приложение должно вести диалог с пользователем, выполнять обработку ошибок, вести работу с окнами диалога;
- Программа является предсказуемой, процесс работы с ней не имеет существенных отличий от работы с другими приложениями.

Согласованный пользовательский интерфейс обеспечивает экономию времени пользователя, а также позволяет защитить пользователя от ошибок при использовании программы [6].

При разработке пользовательского интерфейса используется граф диалога. Для разработки пользовательского интерфейса был использован граф диалога, рассмотренный на **Рис.5**.

Тестирование разработанного интерфейса. На основе анализа требований к будущему приложению были сформулированы основные возможности, которые должны предоставляться его интерфейсом:

- Загрузка данных из файла формата .txt: кнопка;
- Представление загруженных данных пользователю: поля вывода;
- Выбор метода идентификации объекта управления: поле со списком методов;
- Ввод начальных значений каждого алгоритма идентификации: поля ввода;
- Получение параметров идентифицированного звена и представление их пользователю: кнопка и поля вывода;
- Анализ погрешности аппроксимации: поля вывода;
- Формирование данных для построения графика рассчитанной кривой переходного процесса: кнопка и поля вывода;
- Завершение работы с приложением: кнопка.

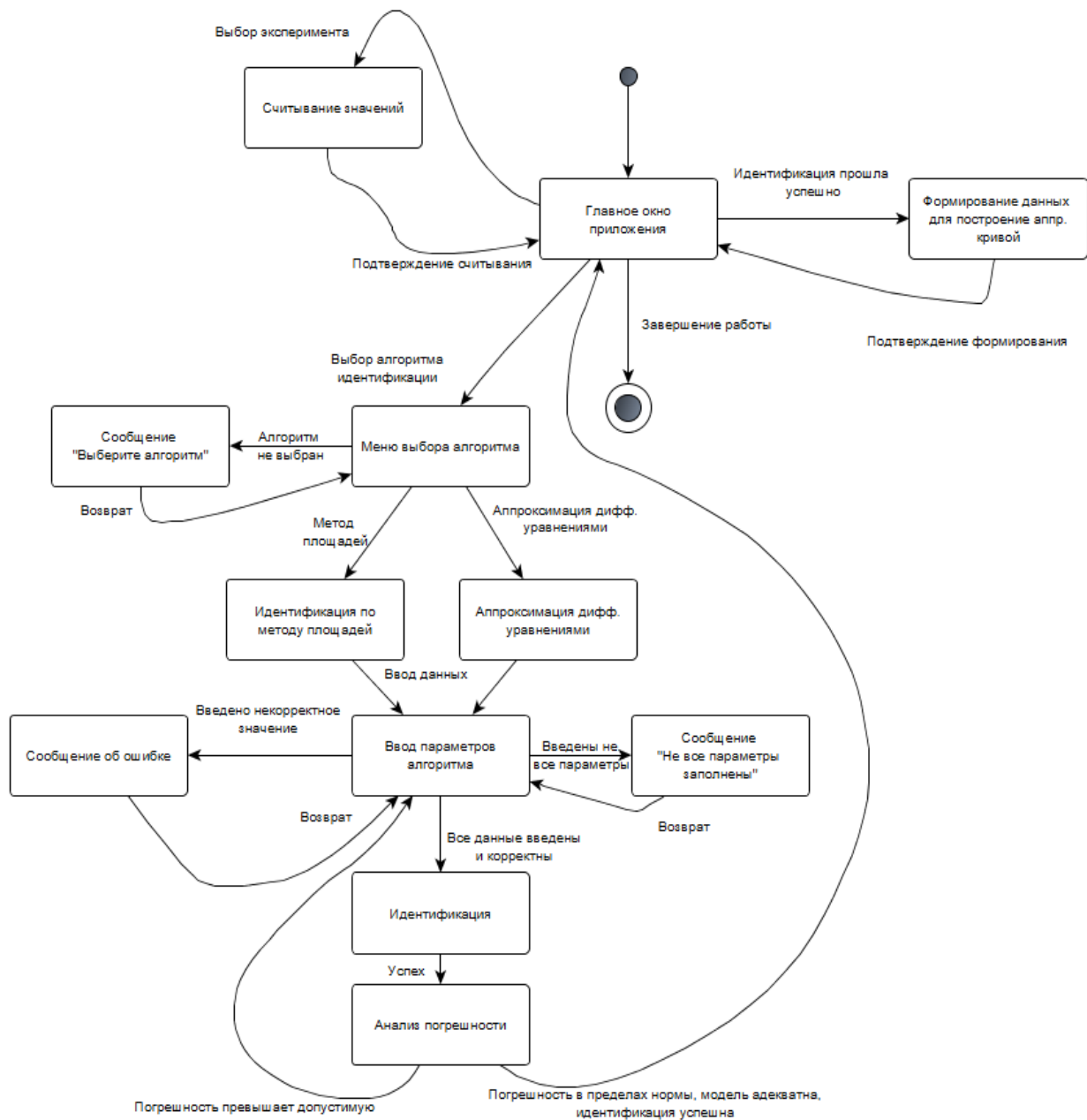


Рис.5 – Граф абстрактного диалога пользователя и программы

Сообщения об ошибке работы с приложением возникают в следующих случаях:

- Не выбран эксперимент, результаты которого могли бы быть считаны приложением;
- Не выбран алгоритм идентификации объекта;
- Не заполнены все параметры, требуемые для работы алгоритма;

- Вводимые параметры не удовлетворяют условиям проверки вводимых с клавиатуры данных (нельзя вводить буквы, «-» может быть только один в строке и только первым символом в строке, десятичный разделитель «.» автоматически заменяется на «.» и должен быть единственным в строке).

На основе данных требований была разработана структура интерфейса приложения, представленная на **Рис.6** и **Рис.7**.

Идентификация объекта по временным характеристикам

Эксперимент: Эксперимент №6

Метод идентификации: Аппроксимация диф. уравнениями

Список выбора методов идентификации

Аппроксимация диф. уравнениями

Значение запаздывания: 0

Начальное значение входного сигнала: 0

Конечное значение входного сигнала: 1

Начальное значение выходного сигнала: 0

Установившееся значение выходного сигнала: 6.99109

Начальные параметры алгоритма

Результат

Кoeffициент передачи: 6.99109

$y_2 > 0.33$

Постоянная времени: 9.4875

Запаздывание: -0.145

2 проверки на погрешности в %

1.32276637904443

0.88957335095116

Панель алгоритма "Аппроксимация дифференциальными уравнениями"

Значения рассчитанной кривой

Рис.6 – Структура интерфейса приложения при аппроксимации дифференциальным уравнением

Концептуальная модель программного модуля идентификации объекта автоматического управления по временным характеристикам

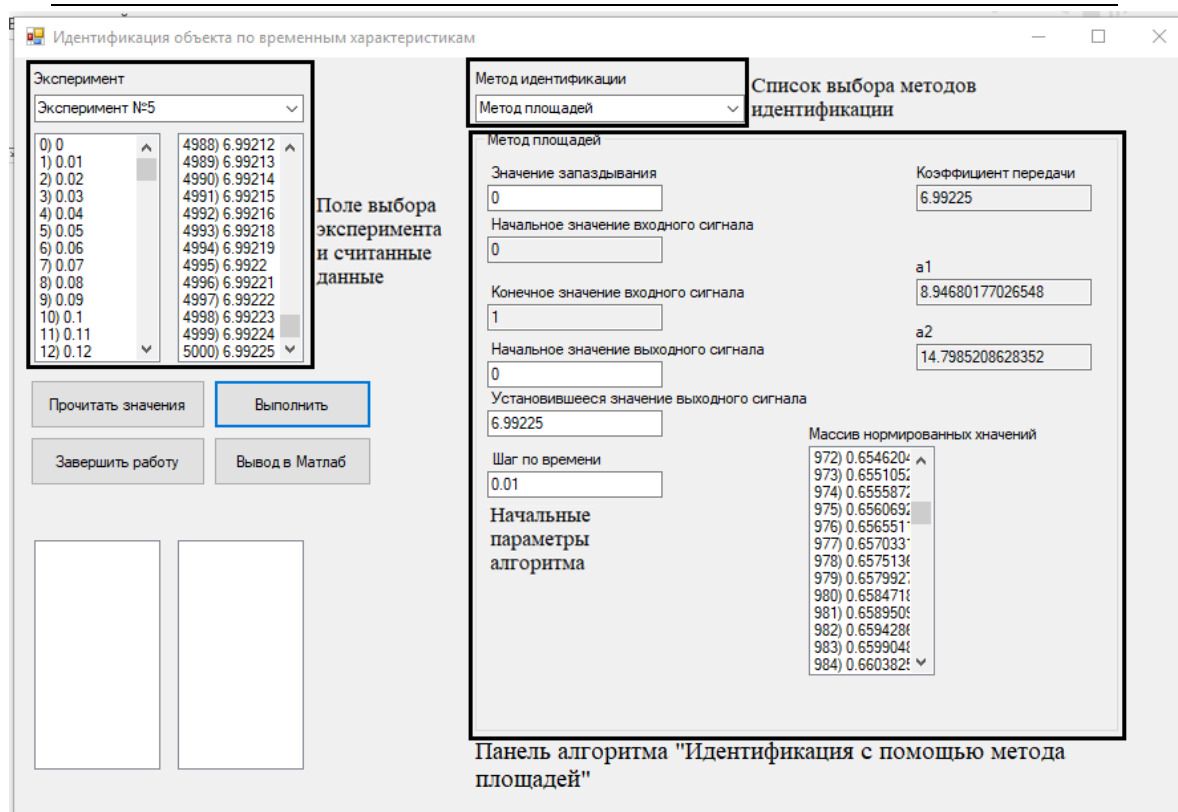


Рис.7 – Структура интерфейса приложения при идентификации методом площадей

Закключение. В данной работе проведено концептуальное моделирование программного модуля для идентификации объекта автоматического управления по временным характеристикам. В ходе выполнения данного этапа весь интерфейс был декомпозирован на модули с подробным описанием функционала каждого из них.

Дальнейшим этапом исследований является программная реализация алгоритмов идентификации объекта и визуализация результатов исследований.

Библиографический список

- 1.Сергеев, Н.О. Сравнение методов идентификации объектов управления по временным характеристикам / Н.О. Сергеев, Н.П. Прокуденков // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ, 2018, С. 290 – 294.
2. Visual Studio. Лучшие в своем классе средства для разработчиков. [Электронный ресурс]. — URL: <https://visualstudio.microsoft.com/ru/>.
- 3.Дилигенская, А.Н. Идентификация объектов управления: Учебное пособие / А.Н. Дилигенская — Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2009. — 136 с.

4. Getting started with Matlab [Электронный ресурс]. — URL: <https://ch.mathworks.com/products/matlab/getting-started.html>
5. Сергеев, Н.О. Описание среды мониторинга трафика и нотификации пассажиров на языке UML и в нотации IDEF0 / Н.О. Сергеев, В.И. Шевченко // Сборник статей всероссийской студенческой научно-технической конференции "Мир компьютерных технологий", 2020. – С. 62-68.
6. Иванова, Г.С. Технология программирования: Учебник для вузов / Г.С. Иванова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Sergeev, N.O. Sravnenie metodov identifikacii ob"ektov upravleniya po vremennym harakteristikam / N.O. Sergeev, N.P. Prokudnikov // ENERGETIKA, INFORMATIKA, INNOVACII, 2018, S. 290 – 294.
2. Visual Studio. Luchshie v svoem klasse sredstva dlya razrabotchikov. [Elektronnyj resurs]. — URL: <https://visualstudio.microsoft.com/ru/>.
3. Diligenskaya, A.N. Identifikaciya ob"ektov upravleniya: Uchebnoe posobie / A.N. Diligenskaya — Samara: Samar. gos. tekhn. un-t., 2009. – 136 s.
4. Getting started with Matlab [Elektronnyj resurs]. — URL: <https://ch.mathworks.com/products/matlab/getting-started.html>
5. Sergeev, N.O. Opisanie sredy monitoringa trafika i notifikacii passazhirov na yazyke UML i v notacii IDEF0 / N.O. Sergeev, V.I. Shevchenko // Sbornik statej vserossijskoj studencheskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii "Mir komp'yuternyh tekhnologij", 2020. – S. 62-68.
6. Ivanova, G.S. Tekhnologiya programmirovaniya: Uchebnik dlya vuzov / G.S. Ivanova – М.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2002. – 320 s.

¹Сергеев Никита Олегович, ассистент, nosergeev@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

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

³ Ольга Васильевна Ченгарь, к.т.н., доцент, OVChengar@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

CONCEPT MODEL OF A PROGRAM MODULE FOR AUTOMATIC CONTROL OBJECT IDENTIFICATION BASED ON TIME-RESPONSE CHARACTERISTICS

N.O. Sergeev, V.I. Shevchenko, O.V. Chengar

This article provides the design of a software module conceptual model. This module is aimed at obtaining mathematical description of an automatic control object, which is situated on the state of uncertainty under noise effect. The aim is achieved through applying measures and methods of control link parameters identification via experimental transition curve.

Key words: concept model, program module, mathematical modelling, control object, identification, approximation.

Sergeev Nikita Olegovich, Assistant, nosergeev@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

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

СЕТЕВАЯ СИСТЕМА ОБМЕНА ВИДЕОДАНЫМИ СЕРВИСНОГО РОБОТА И ОПЕРАТОРА

Крамарь В.А.¹, Крамарь О.А.²

Аннотация. В статье рассматривается подход к построению системы установления прямой видеосвязи между сервисным роботом и оператором. Рассмотрен принцип построения сервисного робота. Предложено и обосновано использование технологии WebRTC для построения видеообмена без прохождения сигнала через промежуточные серверы. Приведены примеры организации сетевого подключения и разработанные фрагменты кода программы. Показано как преодолевается проблема, когда источник и приемник не находятся в одной локальной сети или находятся за пределами Network Address Translation. В статье описано использование STUN или TURN серверов для нахождения маршрута между клиентами, находящимися за пределами Network Address Translation. Сделан вывод о том, что организации обмена видеоданными на основе технологии WebRTC являются весьма эффективными, позволяя передавать данные от сервисного робота и получать их с необходимой скоростью.

Ключевые слова. Сервисный робот, видеосигнал, сетевая система, технология WebRTC.

Введение. В последние годы наряду с промышленными и транспортными роботами широкое распространение нашел такой класс роботов как сервисный робот. Сервисный робот – это автономный робот предназначенный для работы в людных местах, где, перемещаясь автономно, он организывает навигацию, показывает рекламные материалы, запоминает всех, с кем взаимодействовал, общается и отвечает на любые вопросы либо самостоятельно, либо подключаясь к оператору по сети, передавая видео и аудио информацию [1].

На сегодняшний день широко известны следующие социальные или сервисные роботы Paro (Япония), Asimo android (Япония), Actroid (Япония), EveR (Южная Корея), Repliee (Япония), Torio (Вьетнам), Aiko (Канада), HRP (Япония), Ибн Сина (Объединенные Арабские Эмираты, 2009), Франк (Швейцария), Kirobo Mini (Япония), Jibo (США) Promobot (Россия).

В своей работе сервисные роботы сочетают различные технологии: распознавание речи, распознавание лиц, синтез речи, возможность поиска информации в Интернете и др. [1]. При этом, одной из ключевых задач сервисного робота является обеспечение видеодиалога с человеком – клиентом [2,3]. Это связано с тем, что хотя разрабатываемые и применяемые технологии сервисного робота стремятся исключить человека, как элемент информационной системы, периодически возникают ситуации, при которых

необходимо подключение оператора к справочной системе для коммуникации с клиентом.

Одним из наиболее распространенных направлений в организации видеообмена является мультимедийная платформа Adobe Flash, которая использовалась для воспроизведения на веб-страницах видео- и аудиозаписей, осуществляя потоковое аудио и видео для различных операционных систем Windows, macOS, Linux, Chrome OS, а также в качестве предварительных релизов для операционных систем мобильных приложений. Однако, в связи с прекращением поддержки Adobe Flash возникает задача реализации эффективного видеообмена с достаточной пропускной способностью между устройствами сервисного робота и компьютером оператора. В свою очередь, часто возникает требование, чтобы видеосигнал не проходил через внешние серверы, не принадлежащие участникам обмена, в отличие от того, как это реализовано в Skype или Viber. Программное обеспечение типа Skype или Viber подразумевает для клиента полный доступ к интерфейсу что для реализации нашей задачи не приемлемо.

В качестве эффективного инструмента решения задачи прямой передачи видеосигнала целесообразно использовать технологию WebRTC компании Google, которая предоставляет стандартный медиадвижок в режиме реального времени для всех доступных браузеров любых операционных систем.

В настоящей статье описывается разработка и реализация сетевой системы диалогового обмена видеоданными между сервисным роботом и компьютером оператора или другими сетевыми устройствами с помощью технологии WebRTC.

Общая компоновка разрабатываемого сервисного робота. 3D модель разрабатываемого сервисного робота, в рамках выполнения проекта, имеет вид, представленный на **Рис.1**.

Разрабатываемый сервисный робот будет использоваться как робот - консультант. Робот выполнен в виде автономной мобильной системы, которая позволяет клиенту производить действия в месте нахождения робота: получить консультацию по видеосвязи с оператором; ознакомиться с рекламными материалами; оставить свои регистрационные данные; записаться на прием.

Основной особенностью разрабатываемого сервисного робота является организация возможности осуществления консультации с оператором с помощью удаленной передачи видеосвязи между пользователем и оператором. Согласно технического задания качество звука и видео ограничивается лишь пропускной способностью канала Интернет.

3D модель робота разработана в программном комплексе САПР Solid-Works. Разработанный дизайн робота имеет некоторое сходство с человеком, для имитации естественного общения. Для полноценной работы робот оснащен двумя экранами. Первый экран расположен на голове сервисного робота, на котором будет отображаться оператор при организации видеосвязи с ним. Для работы со справочной информацией в районе туловища робота установлен второй экран – сенсорный планшет, на котором будет отображена вся необходимая информация для клиента. С помощью сенсорного экрана клиент может взаимодействовать с роботом, получать актуальную информацию или же оставить свою информацию для дальнейшей обработки.



Рис.1 – 3D модель сервисного робота

Видеосвязь осуществляется с помощью кроссплатформенной технологии WebRTC которая установлена на одноплатный компьютер Raspberry Pi. Благодаря кроссплатформенной технологии робот поддерживает любую популярную операционную систему, на которой можно запустить браузер.

Для придания «WOW»-эффекта [4] робот оснащен подвижной рукой – многозвенным (антропоморфным) манипулятором, который должен совершать определенные движения, как реакцию на различные приветственные фразы клиента, а также на появлении клиента в зоне видимости. Управление манипулятором реализовано на базе микроконтроллера Arduino.

Для определения наличия клиента рядом с роботом будет использован ультразвуковой датчик — дальномер. Данные с датчика обрабатываются с помощью медианного фильтра, который предотвратит ложные срабатывания. Медианный фильтр находит среднее значение, но не

усредняя, а выбирая его из представленных. Выбор фильтра зависит от типа сигнала и ограничений по времени фильтрации. С помощью дальномера сервисный робот при определении человека в комнате будет производить взмах рукой для привлечения внимания. Работа датчиков управляется аппаратной платформой Arduino.

Робот установлен на подвижную платформу, перемещение которой управляется с помощью платы управления с двумя H-мостами с программным управлением с помощью Arduino Nano. Движение робота обеспечивают два двигателя мощностью 25Вт. Микроконтроллер Arduino будет получать данные с Raspberry Pi с помощью протокола I2C.

Организация видеопотока с помощью технологии WebRTC. Как отмечалось ранее, для получения видеопотока с видеокamеры, подключённой к сервисному роботу, воспользуемся браузерной технологией WebRTC [5], которая позволяет организовать удаленную передачу видеосвязи через браузер. Эта кроссплатформенная технология позволяет выполнять разработанную программу видеобмена на любой платформе и на любом браузере. Универсальность использования технологии WebRTC достигается в результате реализации API интерфейсов. Главная особенность технологии WebRTC состоит в самостоятельной поддержке браузерами этой технологии, без необходимости использовать сторонние плагины или дополнительное оборудование.

Передача данных посредством технологии WebRTC достаточно безопасна, несмотря на то что для защиты данных WebRTC не использует сторонние сервисы, однако, алгоритм работает через стандартные сетевые протоколы UDP и TCP, которые сами по себе обеспечивают безопасность передачи данных. Гарантированная надежная работа технологии WebRTC позволяет избежать ретрансляции с сервера и тем самым снижает задержку и повышает качество передаваемого сигнала.

Для получения изображения и звука с камеры и вывода видеопотока на экран воспользуемся методом `MediaDevices.getUserMedia()` [6] который позволяет подключиться к локальному медиа потоку, в который будет входить видео с камеры сервисного робота и компьютера оператора и синхронизированный с видео звук с микрофонов. На **Рис.2** приведен фрагмент кода подключения камеры сервисного робота для организации видеопотока.

```

<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <script type="text/javascript">
      var constraints = {audio: true, video: true};
      function Mymedia(Stream) {
        var Myvideo = document.querySelector('video');// выбираем элемент 'video'
        Myvideo.srcObject = Stream;// возвращает объект с видеоданными
        Myvideo.onloadedmetadata = function(e) {
          Myvideo.play();// запускаем на воспроизведение
        };
      }
      function onfail(fail) {
        console.log(fail.name + ": " + fail.message);
      }
      navigator.mediaDevices.getUserMedia(constraints).then(Mymedia).catch(onfail);
    </script>
  </head>
  <body>
    <video autoplay=""></video>

  </body>
</html>

```

Рис.2 – Скрипт подключения камеры сервисного робота для организации видеопотока

Благодаря приведенному на **Рис.2** скрипту мы можем получить видео и звук с медийной аппаратуры сервисного робота, при этом программа будет правильно работать с любыми установленными в операционную систему камерами и на любых операционных системах, на которых можно запустить браузер. Приходящий видеопоток можно сохранять в видеофайлы или создавать мгновенные фотоизображения. В случае если камера будет установлена на другом компьютере или устройстве нам нужно создать реестro-peer соединение для двух клиентов по локальной сети или по интернету для передачи видео данных.

Сетевая система организации видеообмена. Механизм обнаружения и согласования одноранговых узлов WebRTC называется сигнализацией. Чтобы два устройства в разных сетях имели возможность соединиться друг с другом, им необходимо использовать сервер сигнализации. Используя такой сервер, два устройства могут обнаруживать друг друга и обмениваться сообщениями согласования. WebRTC не определяет сигнализацию, поэтому нужно использовать любой другой способ передачи начальных данных, без использования WebRTC. Это может быть Websockets, протокол HTTP или любой другой сервер для реестro-peer соединения (**Рис.3**).

Задача сигнального сервера — это обеспечить активацию между клиентами WebRTC, а также сообщить о завершении соединения и осуществить отправку сообщений об ошибках.

Сигнальный сервер можно реализовать на собственном сервере Node.js, но это потребует создание своего или аренду аппаратного сервера, а значит повлечет дополнительные финансовые вложения. В связи с этим,

сигнальный механизм можно создать на стороннем аппаратном сервере. Для этих целей воспользуемся услугами службы push-сообщений Scaledrone, которая для передачи данных использует WebSockets и для наших целей является бесплатным. Сигнальный сервер Scaledrone будет эксплуатироваться только при подключении устройств друг к другу, тогда как при передаче медиа потока он задействоваться не будет.

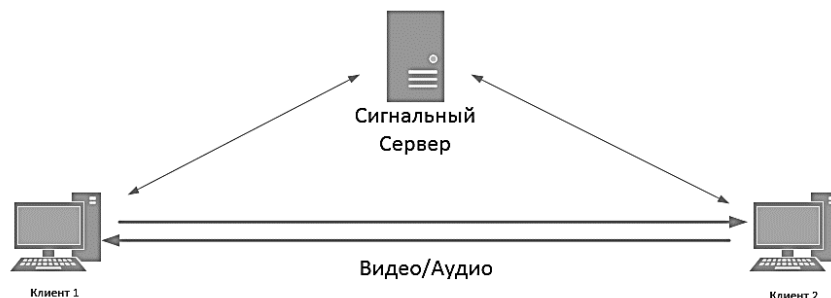


Рис.3 – Пример передачи медиапотока в одноранговой сети

Используя сервис Scaledrone, мы можем подписаться на т.н. «комнату», а затем передавать сообщения, отправленные в эту «комнату», всем подписанным пользователям. Это делает Scaledrone идеальным решением для реализации сигнального сервера для WebRTC.

Чтобы приложение поддерживало более одного одновременного вызова для каждой комнаты будет сгенерирован свой хэш URL (код приведен на **Рис.4**).

```

<script>
if (!location.hash) {
  location.hash = hashGen(5);
}
const Hash = location.hash.substring(1);

function hashGen(len) {
  charHash = '123456789';
  var strHash = '';
  for (var i = 0; i < len; i++) {
    var pos = Math.floor(Math.random() * charHash.length);
    strHash += charHash.substring(pos, pos+1);
  }
  return strHash;
}
</script>
  
```

Рис.4 – Генерация хеш URL для создания уникальных «комнат»

Далее, по алгоритму производится считывание названия «комнаты» из хеш-части URL-адреса. Если в URL-адресе нет хеш-части, то она создается программно. Затем сгенерированный URL-адрес можно передать другому участнику видеосвязи (фрагмент кода приведен на **Рис.5**).

```

<script>
const nameMyroom = 'observable-' + Hash;
Myroom = scale.subscribe(nameMyroom);
Myroom.on('open', error => {
  if (error) {
    onFail(error);
  }
});
</script>

```

Рис.5 – Код программы для подключения к «комнате»

После подключения к Scaledrone мы подпишемся на «комнату» (имя «комнаты» берется из хэша URL) и получим сообщение о количестве подключенных к этой комнате, включая нас (**Рис.6**).

```

<script>
Myroom.on('members', party => {
  if (party.length >= 3) {
    return alert('Клиентов больше трех');
  }
  const isProposition = party.length === 2;
  startWebRTC(isProposition);
});
</script>

```

Рис. 6. Код программы для подсчета членов в «комнате»

Если количество подключенных пользователей равно одному, то запускается код WebRTC и происходит ожидание подключения от другого пользователя. Если мы являемся вторым подключенным пользователем, то мы запускаем код WebRTC и сигнализируем первому пользователю о готовности передачи и приема видеосигнала. При трех или более подключенных пользователях «комната» заполнена и код WebRTC не запускается.

В некоторых случаях аппаратура сервисного робота и компьютер оператора не находятся в одной локальной сети или находятся за пределами Network Address Translation (NAT). В этом случае обеспечение соединения между сервисным роботом и компьютером оператора является трудоемкой задачей. Это связано с тем, что не всем сетевым устройствам присвоены публичные IP адреса. Проблема масштабируемости IPv4 и нехватка IP адресов известна давно. Структура адреса IPv4 дает возможность присваивать устройствам в Интернете доступные публичные адреса, но количество адресов недостаточно для обеспечения всех устройств в Интернете. Для решения недостатка адресного пространства в IPv4 был разработан механизм, который преобразовывает несколько внутренних IP-адресов в один публичный IP-адрес. В настоящее время большинство сетей в мире работают с применением NAT. Это позволяет интернет – провайдеру раздавать приватные IP адреса клиентам используя один публичный IP адрес. Полученные приватные IP адреса не уникальны, поэтому для обеспечения соединения peer-to-peer требуются дополнительные механизмы.

На **Рис.5** приведен пример организации работы сетей с применением NAT. Из **Рис.5** видно, что между клиентами, находящимися в одной локальной сети установление соединения не составляет проблем в рамках использования технологией WebRTC. Однако для передачи видеопотока между клиентами, которые получают доступ к интернету через технологию NAT, одной технологией WebRTC будет не достаточно. Так как клиентам присвоены локальные IP адреса по типу 192.168.0.1, построить маршрут между такими клиентами без посторонней помощи невозможно. Поэтому для решения этой проблемы будем применять STUN-сервер (**Рис.6**), а если STUN-сервер не сможет построить маршрут тогда воспользуемся при необходимости TURN-сервером (**Рис.7**).

Задача STUN-сервера состоит в нахождении маршрута между клиентами, находящимися за пределами NAT. Клиент, для нахождения публичного внешнего адреса, делает запрос к STUN серверу. Если сервер смог обнаружить публичный IP адрес, по которому доступен клиент, он возвращает эти данные обратно клиенту. Аналогичные действия производит второй клиент. После этих действий в таблице NAT роутера появятся сведения, которые позволят пропускать к нашему клиенту данные. Теперь WebRTC получил маршрут, по которому он может связать двух клиентов для передачи видеоданных. Поскольку STUN-сервер не пересылает через себя медиа данные и не участвует в передаче медиапотока, конфиденциальность видеоданных не будет нарушена, а безопасность передачи данных как говорили ранее, будут обеспечивать протоколы TCP и UDP, мы можем воспользоваться публичными STUN-серверами. При реализации разработанной программы мы будем использовать публичный STUN-сервер от компании Google.

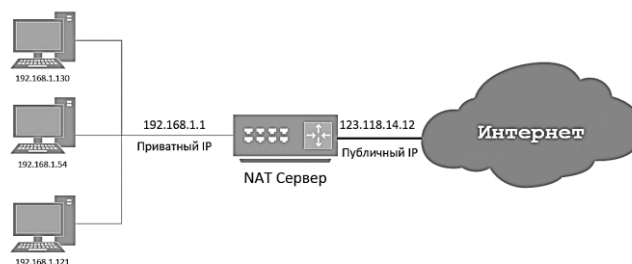


Рис.5 – Пример организации сети с применением NAT

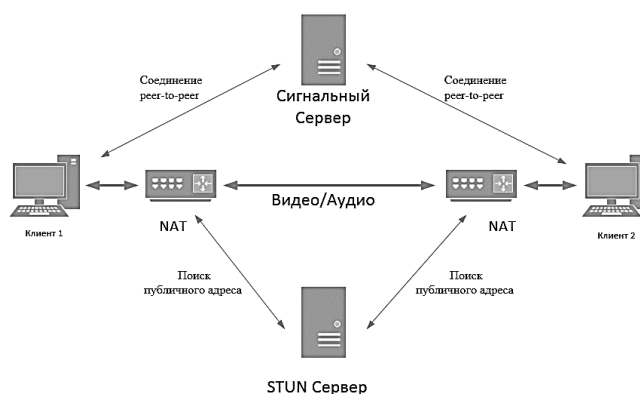


Рис.6 – Пример передачи медиапотoka между клиентами с помощью STUN-сервера

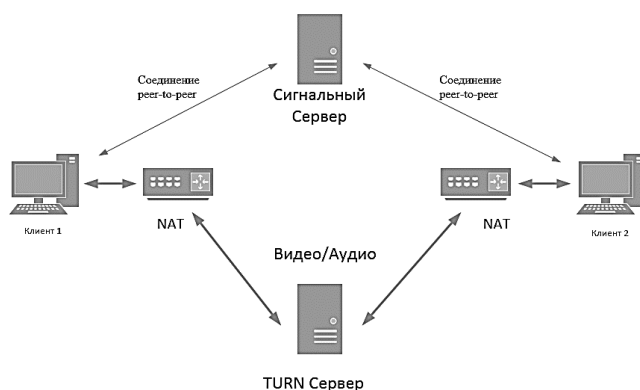


Рис.7 – Пример передачи медиапотoka между клиентами с помощью TURN –сервера

В случае, когда STUN-сервер не может найти маршрут, можно использовать TURN сервер. TURN-сервер использует расширение STUN-протокола. Основное отличие этого сервера заключается в том, что весь трафик медиапотoka он пропускает через себя, это обеспечивает бесперебойную передачу медиа данных, однако такой режим работы сильно увеличивает нагрузку на сервер и увеличивает трафик, проходящий через сервер (Рис.7). В этих случаях TURN сервер применяется как посредник, то есть peer-to-peer превращается в связь клиент-сервер-клиент.

Теперь, когда осуществлено подключение и получен маршрут между клиентами для передачи медиа данных можно приступить к передаче видео и аудио данных. Для передачи видео воспользуемся механизмом `RTCPeerConnection` из WebRTC API, с помощью которого соединяются браузеры клиентов.

Анализ задержки передаваемого сигнала. В практике решения задач измерения скорости сети по ряду других причин, разработчику иногда

требуется создать собственный тест. Для оценки скорости сети, в [7] предлагается использовать уравнение «Mathis», определяющее полосу пропускания для сети с периодическими потерями и получателем, который подтверждает каждый пакет:

$$BW = \frac{MSS \cdot C}{RTT \cdot p},$$

где MSS – максимальный размер сегмента, который является наибольшим ожидаемым размером пакета, RTT – время прохода сигнала в обоих направлениях, p – постоянный ненулевой коэффициент случайной потери пакетов.

Проведем исследование качества передачи данных. Для исследования качества передачи данных была проведена серия тестов, в которых были проанализированы двухсторонние видео конференции. Видеосвязь проводилась, используя браузер Google Chrome. Оба клиента находились в одной локальной сети. Было обработано около 1000 состоявшихся звонков, из которых можно выделить два сценария:

1. обе стороны имеют хорошие сетевые условия;
2. два клиента имеют плохое соединение. Подключение к WLAN слабое.

Каждый сценарий запускался несколько раз с разными временными интервалами от 5 минут до 10 минут, чтобы проанализировать как можно больше вариаций производительности.

Для однорангового соединения между двумя клиентами, клиент 1 идентифицирован как отправитель и имеет статистику, помеченную как отправленную (например, `bytesSent_in_bits/s`), тогда как клиент 2, идентифицированный как получатель, имеет статистику, помеченную как полученную (например, `bytesReceived_in_bits/s`).

На **Рис.8,9** приведен график изменения скорости передачи байтов. Толстая линия отображает скорость передачи байтов при отправке видео на первом компьютере - `bytesSent_in_bits/s`, тонкая линия отображает скорость получения байтов при приеме видео на втором компьютере - `bytesReceived_in_bits/s`. В случае качественной передачи видеосигнала графики должны практически совпадать.

На **Рис.8** приведен пример плохой организации видеосвязи. Графики изменения скорости отправки и приема байтов не совпадают. На **Рис.9** приведен пример качественной организации видеосвязи.

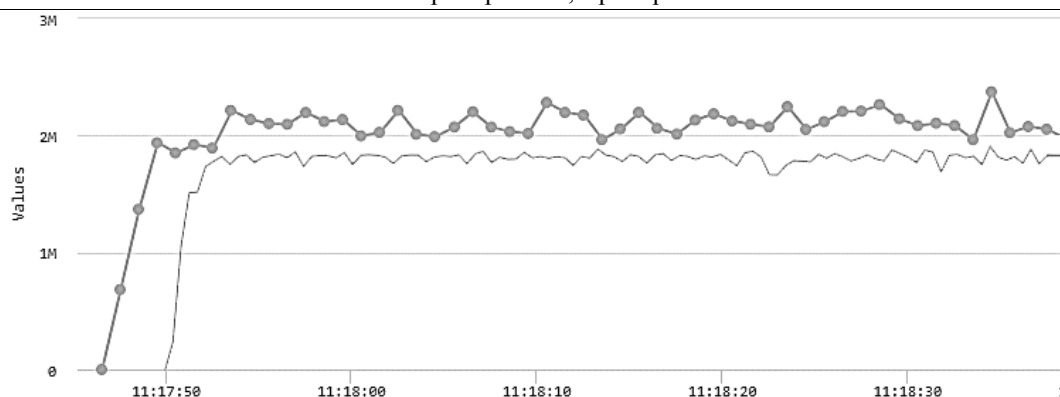


Рис.8 – График изменения скорости передачи байтов Толстая линия – отправка данных, тонкая – прием

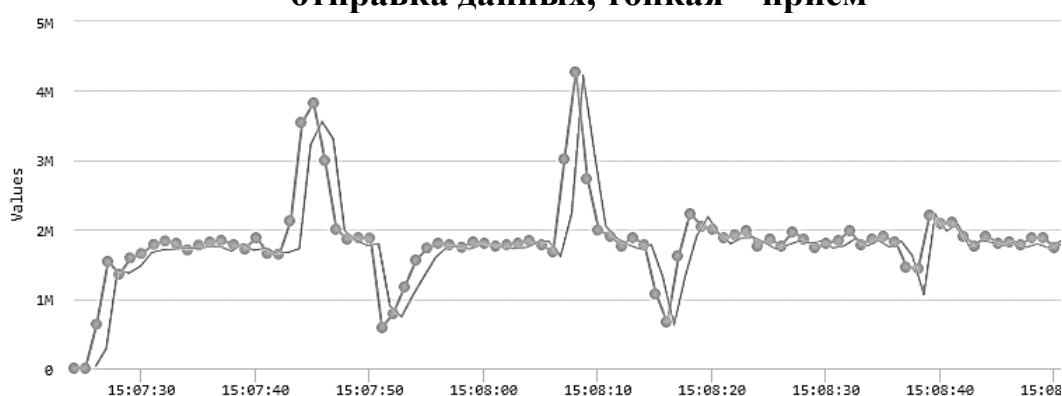


Рис.9 – Совпадающие графики изменения скорости отправки байтов с одного источника и приема на другом источнике (толстая линия - отправка, тонкая линия - прием)

Вывод. В настоящей статье предложено решение построения сетевого соединения между сервисным роботом и компьютером оператора для организации обмена видеоданными на основе технологии WebRTC. Предложенное решение является весьма эффективным, позволяя передавать данные от сервисного робота и получать их с достаточной скоростью. Предлагаемый подход может быть весьма эффективной альтернативой для организации получения видеоданных от промышленных роботов, работающих удаленно, например подводных роботов, работающих на основе телеуправления [7]. В этом случае видеоданные будут идти только в одном направлении – от робота к оператору, позволит передавать видеоданные и в том случае, когда организация работы робота с оператором построена не в локальной сети.

Библиографический список

1. Yuzhakov A. Promobot: Autonomous service robot for business / A. Yuzhakov // 6th World Convention on Robots, Autonomous Vehicles and Deep Learning September 10-11, 2018 Singapore

2. Haasch A. Modality Integration and Dialog Management for a Robotic Assistant / A. Haasch, S. Hwel, J. Fritsch, G. Fink // in Proc. European Conf. on Speech Communication and Technology, Lisboa, Portugal, 2005.
3. Jung H. Affective communication system with multimodality for the humanoid robot, AMI / H. Jung, Y. Seo, M.S. Ryoo, H.S. Yang // in Proc. IEEE-RAS HUMANOIDS, vol.2, 2004. – pp.690 - 706.
4. Biondi R. The wow effect Conference / R. Biondi, P. Pagnotta, G. Trentini, T. Cirotti, C. Parrettini // EGU General Assembly 2015
5. Loreto S. Real-Time Communication with WebRTC / S. Loreto, S.P. Romano // O'Reilly Media, Inc. 2014. – 148p.
6. WebRTC Tutorial. Simply Easy Learning // Tutorialspoint, 2017 – 182p.
7. McClellan M. WebRTC Based Network Performance Measurements / M. McClellan // MIT, Masters of Engineering in Computer Science and Engineering, 2019. – 60p.

Bibliograficheskiy spisok

1. Yuzhakov A. Promobot: Autonomous service robot for business / A. Yuzhakov // 6th World Convention on Robots, Autonomous Vehicles and Deep Learning September 10-11, 2018 Singapore
2. Haasch A. Modality Integration and Dialog Management for a Robotic Assistant / A. Haasch, S. Hwel, J. Fritsch, G. Fink // in Proc. European Conf. on Speech Communication and Technology, Lisboa, Portugal, 2005.
3. Jung H. Affective communication system with multimodality for the humanoid robot, AMI / H. Jung, Y. Seo, M.S. Ryoo, H.S. Yang // in Proc. IEEE-RAS HUMANOIDS, vol.2, 2004. – pp.690 - 706.
4. Biondi R. The wow effect Conference / R. Biondi, P. Pagnotta, G. Trentini, T. Cirotti, C. Parrettini // EGU General Assembly 2015
5. Loreto S. Real-Time Communication with WebRTC / S. Loreto, S.P. Romano // O'Reilly Media, Inc. 2014. – 148p.
6. WebRTC Tutorial. Simply Easy Learning // Tutorialspoint, 2017 – 182p.
7. McClellan M. WebRTC Based Network Performance Measurements / M. McClellan // MIT, Masters of Engineering in Computer Science and Engineering, 2019. – 60p.

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

²*Крамарь Олег Александрович, rolets@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,*

**THE NETWORK SYSTEMS OF VIDEO DATA EXCHANGE OF THE
SERVICE ROBOT AND THE OPERATOR**

The article discusses an approach to building a system for establishing direct video communication between a service robot and an operator. The principle of building a service robot is considered. The use of WebRTC technology for building video exchange without passing a signal through intermediate servers is proposed and substantiated. Examples of organizing a network connection and developed fragments of the program code are given. Shows how to overcome the problem when the source and destination are not on the same local network or outside of Network Address Translation. This article describes an approach to using STUN or TURN servers to find a route between clients outside of Network Address Translation. It is concluded that organizing the exchange of video data based on the WebRTC technology is very effective, allowing you to transfer data from a service robot and receive it at the required speed.

Key words: service robot, video signal, network system, WebRTC technology.

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

Kramar Oleg Aleksandrovich, rolets@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОФИЛАКТИКОЙ МЕТОДОМ ПУТЕЙ

Копп В.Я.¹, Флоря П.Н.², Владимирова Е.С.³, Чаленков Н.И.⁴

Аннотация. *Анализируется однокомпонентная система, ее функционирование при использовании стратегии непрерывной профилактики – такой, при проведении которой рабочий элемент во время проведения профилактики продолжает функционировать. При использовании метода путей определяются функции распределения времен пребывания системы в подмножествах работоспособных и неработоспособных состояний. Сравниваются результаты моделирования 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.*

Использование рациональной стратегии технического обслуживания технологического оборудования [1,2,3] позволяет увеличить срок его службы. 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. Одним из методов решения данной проблемы является разработка таких систем, в которых предусмотрено проведение профилактического обслуживания без остановки основного оборудования, то есть непрерывной профилактики.

Целью данной статьи является разработка с использованием метода путей [4] математической модели [5–11], позволяющей определять производительность системы с учетом указанного вида профилактики.

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 α_1 , α_2 , β_1 , β_2 предполагаются независимыми,

имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР $F_1(t)$, $F_2(t)$, $G_1(t)$, $G_2(t)$ существуют плотности $f_1(t)$, $f_2(t)$, $g_1(t)$, $g_2(t)$.

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 профилактируется.

Расширим ФПС, введя полумарковские состояния:

$$E = \{221_x, 210, 100, 102_{z1}, 112_{z2}, 200_y\},$$

где 221_x – началась профилактика, работа системы продолжается; время, оставшееся до окончания ее работы $x > 0$; 210 – профилактика завершена, работа системы началась сначала; 100 – работа системы завершена, профилактика прервана; 102_{z1} – системы завершила работу, началось восстановление; время, оставшееся до проведения профилактики $z1 > 0$; 112_{z2} – произошло восстановление системы; время, оставшееся до проведения профилактики $z2 > 0$; 200_y – 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**.

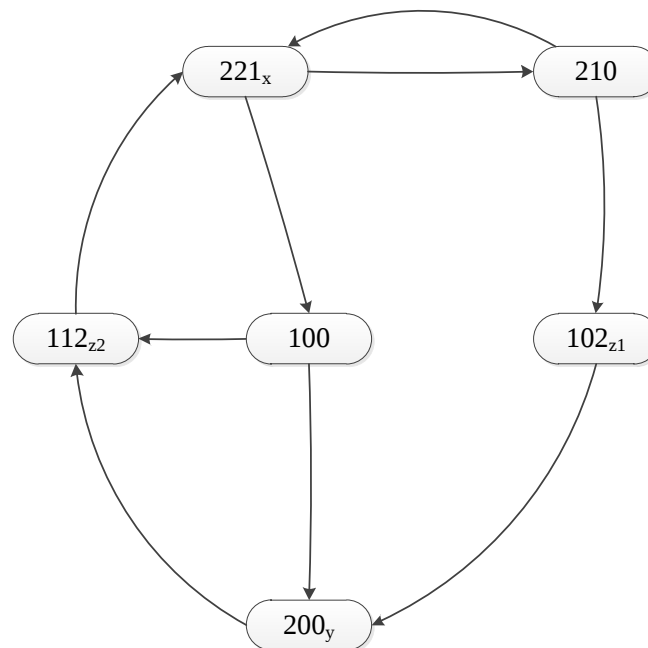


Рис.1 – Граф состояний системы

При построении полумарковской модели были 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:

$$E_+ = \{221x, 210, 112z2\},$$

$$E_- = \{100, 200y, 102z1\}.$$

Для достижения цели моделирования, а именно определения коэффициента готовности такой системы необходимо воспользоваться методом путей. Для чего требуется произвести укрупнение системы, то есть перейти от системы с непрерывным фазовым пространством состояний к системе с дискретными состояниями [13].

В таком случае непрерывные компоненты будут равны:

$$z1 = [\alpha_2 - \alpha_1]^+; y = P_{210}^{102}[\beta_1 - z1]^+ + P_{210}^{221}[\beta_1 - \alpha_2]^+;$$

$$z2 = P_{100}^{200}[\alpha_2 - y]^+ + P_{100}^{112}[\alpha_2 - \beta_1]^+; x = P_{210}^{221}[\alpha_1 - \alpha_2]^+ + P_{210}^{102}[\alpha_2 - z2]^+.$$

Отсюда, функции распределения выше указанных величин по теоремам Королюка В.С. [7] и Заморёнова М.В. [12] будут равны:

$$\bar{F}_{z1}(t) = \frac{\int_0^\infty [F_2(t+x) - F_2(x)] f_1(x) dx}{\int_0^\infty [1 - F_2(x)] f_1(x) dx};$$

$$\bar{F}_y(t) = P_{210}^{102} \frac{\int_0^\infty [G_1(t+x) - G_1(x)] f_{z1}(x) dx}{\int_0^\infty [1 - G_1(x)] f_{z1}(x) dx} + P_{210}^{221} \frac{\int_0^\infty [G_1(t+x) - G_1(x)] f_2(x) dx}{\int_0^\infty [1 - G_1(x)] f_2(x) dx};$$

$$\bar{F}_{z2}(t) = P_{100}^{200} \frac{\int_0^\infty [F_2(t+x) - F_2(x)] f_y(x) dx}{\int_0^\infty [1 - F_2(x)] f_y(x) dx} + P_{100}^{112} \frac{\int_0^\infty [F_2(t+x) - F_2(x)] g_1(x) dx}{\int_0^\infty [1 - F_2(x)] g_1(x) dx};$$

$$\bar{F}_x(t) = P_{210}^{221} \frac{\int_0^\infty [F_1(t+x) - F_1(x)] f_2(x) dx}{\int_0^\infty [1 - F_1(x)] f_2(x) dx} + P_{210}^{102} \frac{\int_0^\infty [F_1(t+x) - F_1(x)] f_{z2}(x) dx}{\int_0^\infty [1 - F_1(x)] f_{z2}(x) dx}.$$

Очевидно, для вычисления приведенных ФР необходимо определить вероятности переходов:

$$\begin{aligned} P_{102}^{200} &= 1; P_{200}^{112} = 1; P_{112}^{221} = 1; \\ P_{221}^{100} &= \int_0^{\infty} \bar{G}_2(t) f_x(t) dt; P_{221}^{210} = \int_0^{\infty} G_2(t) f_x(t) dt; \\ P_{210}^{221} &= \int_0^{\infty} \bar{F}_1(t) f_2(t) dt; P_{210}^{102} = \int_0^{\infty} F_1(t) f_2(t) dt; \\ P_{100}^{112} &= \int_0^{\infty} \bar{G}_1(t) f_2(t) dt; P_{100}^{200} = \int_0^{\infty} G_1(t) f_2(t) dt. \end{aligned}$$

Определив вероятности переходов, запишем времена пребывания системы в состояниях:

$$\begin{aligned} \theta_{221} &= \beta_2 \wedge x, \theta_{210} = \alpha_1 \wedge \alpha_2, \theta_{200} = y, \\ \theta_{112} &= z_2, \theta_{102} = \beta_1 \wedge z_1, \theta_{100} = \beta_1 \wedge \alpha_2, \end{aligned}$$

где $\wedge$ – знак минимума.

Найдем ФР времен пребывания системы в состояниях:

$$\begin{aligned} \bar{F}_{221}(t) &= \bar{G}_2(t) \cdot \bar{F}_x(t), \bar{F}_{210}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t), \bar{F}_{200}(t) = \bar{F}_y(t), \\ \bar{F}_{112}(t) &= \bar{F}_{z2}(t), \bar{F}_{102}(t) = \bar{G}_1(t) \cdot \bar{F}_{z1}(t), \bar{F}_{100}(t) = \bar{G}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t). \end{aligned}$$

Для получения искомых характеристик в [13] было найдено стационарное распределение вложенной цепи Маркова (ВЦМ):

$$\left\{ \begin{aligned} \rho_{221} &= \frac{1}{2 + 3 \cdot P_{221}^{210} \cdot P_{210}^{102} + P_{221}^{100} \cdot P_{100}^{200} + P_{221}^{100}}, \\ \rho_{210} &= P_{221}^{210} \cdot \rho_{221}, \\ \rho_{100} &= P_{221}^{100} \cdot \rho_{221}, \\ \rho_{102} &= P_{221}^{210} \cdot P_{210}^{102} \cdot \rho_{221}, \\ \rho_{200} &= (P_{221}^{210} \cdot P_{210}^{102} + P_{221}^{100} \cdot P_{100}^{200}) \cdot \rho_{221}, \\ \rho_{112} &= (P_{221}^{210} \cdot P_{210}^{102} + P_{221}^{100}) \cdot \rho_{221}. \end{aligned} \right.$$

Для определения функций распределения времен пребывания системы в подмножествах E_+ и E_- воспользуемся методом путей [4].

Выделим все возможные пути перехода системы из множества M_+ в подмножество M_- .

$$W_0 = \{S_{112}S_{221}\}, W_1^2 = \{S_{112}S_{221}S_{210}\}, W_1^3 = \{S_{112}S_{221}S_{210}S_{221}\}, \\ W_2^2 = \{S_{112}S_{221}S_{210}S_{221}S_{210}\}, W_2^3 = \{S_{112}S_{221}S_{210}S_{221}S_{210}S_{221}\}...$$

Остальные пути образуются при повторном попадании системы в состояния S_{221} и S_{210} .

Введем гипотезы реализации каждого из путей из подмножества E_+ :

H_0 – система не попадает в состояние S_{210} ;

H_1^2 – система попадает в состояние S_{210} один раз и выходит в S_{102} .

H_1^3 – система попадает в состояние S_{210} один раз и выходит в S_{100} .

H_2^2 – система попадает в состояние S_{210} два раза и выходит в S_{102} .

H_2^3 – система попадает в состояние S_{210} два раза и выходит в S_{100} .

H_3^2 – система попадает в состояние S_{210} три раза и выходит в S_{102} .

H_3^3 – система попадает в состояние S_{210} три раза и выходит в S_{100} .

H_k^2 – система попадает в состояние S_{210} k раз и выходит в S_{102} .

H_k^3 – система попадает в состояние S_{210} k раз и выходит в S_{100} .

Тогда вероятности реализации каждого из путей будут равны:

$$P(H_0) = P_{221}^{100}; \\ P(H_1^2) = P_{221}^{210}P_{210}^{102}(P_{221}^{210}P_{210}^{221})^0; P(H_1^3) = P_{221}^{210}P_{210}^{221}P_{221}^{100}(P_{221}^{210}P_{210}^{221})^0; \\ P(H_2^2) = P_{221}^{210}P_{210}^{102}(P_{221}^{210}P_{210}^{221})^1; P(H_2^3) = P_{221}^{210}P_{210}^{221}P_{221}^{100}(P_{221}^{210}P_{210}^{221})^1; \\ P(H_3^2) = P_{221}^{210}P_{210}^{102}(P_{221}^{210}P_{210}^{221})^2; P(H_3^3) = P_{221}^{210}P_{210}^{221}P_{221}^{100}(P_{221}^{210}P_{210}^{221})^2; \\ P(H_k^2) = P_{221}^{210}P_{210}^{102}(P_{221}^{210}P_{210}^{221})^{k-1}; P(H_k^3) = P_{221}^{210}P_{210}^{221}P_{221}^{100}(P_{221}^{210}P_{210}^{221})^{k-1}.$$

Определим условные вероятности события A – «время пребывания системы во множестве состояний пути меньше t » для каждой гипотезы.

$$P(A|H_0) = F_{112}(t) * F_{221}(t); P(A|H_1^2) = F_{112}(t) * F_{221}(t) * F_{210}(t); \\ P(A|H_1^3) = F_{112}(t) * F_{210}(t) * F_{221}(t)^{(*)2}; \\ P(A|H_2^2) = F_{112}(t) * F_{210}(t)^{(*)2} * F_{221}(t)^{(*)2}; \\ P(A|H_2^3) = F_{112}(t) * F_{210}(t)^{(*)2} * F_{221}(t)^{(*)3}; \\ P(A|H_3^2) = F_{112}(t) * F_{210}(t)^{(*)3} * F_{221}(t)^{(*)3}; \\ P(A|H_3^3) = F_{112}(t) * F_{210}(t)^{(*)3} * F_{221}(t)^{(*)4};$$

$$P(A|H_k^2) = F_{112}(t) * F_{210}(t)^{(*)k} * F_{221}(t)^{(*)k};$$

$$P(A|H_k^3) = F_{112}(t) * F_{210}(t)^{(*)k} * F_{221}(t)^{(*)k+1}.$$

где * – знак операции свертки, $(*)k$ – знак операции свертки k -го порядка.

Тогда функция распределения $F_{rez}(t)$ времени пребывания системы в подмножестве E_+ имеет вид:

$$\begin{aligned} F_{rez}(t) &= P_{221}^{100} F_{112}(t) * F_{221}(t) + \\ &+ P_{221}^{210} P_{210}^{102} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^0 F_{112}(t) * F_{221}(t) * F_{210}(t) + \\ &+ P_{221}^{210} P_{210}^{102} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^1 F_{112}(t) * F_{221}(t)^{(*)2} * F_{210}(t)^{(*)2} + \\ &+ P_{221}^{210} P_{210}^{102} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^2 F_{112}(t) * F_{221}(t)^{(*)3} * F_{210}(t)^{(*)3} + \dots + \\ &+ P_{221}^{210} P_{210}^{102} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^{(k-1)} F_{112}(t) * F_{221}(t)^{(*)k} * F_{210}(t)^{(*)k} \dots + \\ &+ P_{221}^{210} P_{210}^{221} P_{221}^{100} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^0 F_{112}(t) * F_{221}(t) * F_{210}(t)^2 + \\ &+ P_{221}^{210} P_{210}^{221} P_{221}^{100} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^1 F_{112}(t) * F_{221}(t)^2 * F_{210}(t)^3 + \\ &+ P_{221}^{210} P_{210}^{221} P_{221}^{100} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^2 F_{112}(t) * F_{221}(t)^3 * F_{210}(t)^4 + \dots + \\ &+ P_{221}^{210} P_{210}^{221} P_{221}^{100} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^{(k-1)} F_{112}(t) * F_{221}(t)^{(*)k} * F_{210}(t)^{(*)k+1} \dots = \\ &= P_{221}^{210} P_{210}^{102} \sum_{i=1}^{\infty} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^{(i-1)} F_{112}(t) * F_{221}(t)^{(*)i} * F_{210}(t)^{(*)i} + \\ &+ P_{221}^{100} \sum_{i=0}^{\infty} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^i F_{112}(t) * F_{221}(t)^{(*)i} * F_{210}(t)^{(*)i+1}, \end{aligned}$$

С использованием преобразований Лапласа переходим в комплексную область:

$$\begin{aligned} F_{rez}(s) &= P_{221}^{210} P_{210}^{102} \sum_{i=1}^{\infty} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^{i-1} F_{112}(s) F_{221}(s)^i F_{210}(s)^i + \\ &+ P_{221}^{100} \sum_{i=0}^{\infty} (P_{221}^{210} P_{210}^{221})^i F_{112}(s) F_{221}(s)^i F_{210}(s)^{i+1} \end{aligned}$$

Оба слагаемых представляют собой сумму двух бесконечных сходящихся рядов, которые в пределе дают нам следующее выражение:

$$F_{rez}(s) = \frac{P_{221}^{210} P_{210}^{102} F_{112}(s) F_{221}(s) F_{210}(s)}{1 - P_{221}^{210} P_{210}^{102} F_{221}(s) F_{210}(s)} + \frac{P_{03} F_{112}(s) F_{210}(s)}{1 - P_{221}^{210} P_{210}^{102} F_{221}(s) F_{210}(s)}.$$

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

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 $G_2(t)$; они распределены по обобщенному закону Эрланга второго порядка с параметрами $\lambda_1 = 0,0444 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 0,1333 \text{ ч}^{-1}$; $\mu_1 = 0,1333 \text{ ч}^{-1}$, $\mu_2 = 0,400 \text{ ч}^{-1}$; $\nu_1 = 6,667 \text{ ч}^{-1}$, $\nu_2 = 20,0 \text{ ч}^{-1}$; $\gamma_1 = 2,667 \text{ ч}^{-1}$, $\gamma_2 = 8,00 \text{ ч}^{-1}$.

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 выражения:

$$T_+ = \frac{\sum_{i \in E_+} m_i \rho_i}{\sum_{k \in K \subset E_+} \sum_{j \in E_-} P_{kj} \rho_i}. \quad (3)$$

Математическое ожидание полученной нами функции распределения составляет 18.784194251 ч, тогда как, определяемое с помощью выражения (3) – 18.784194251 ч. Естественно констатировать, что математические ожидания совпадают.

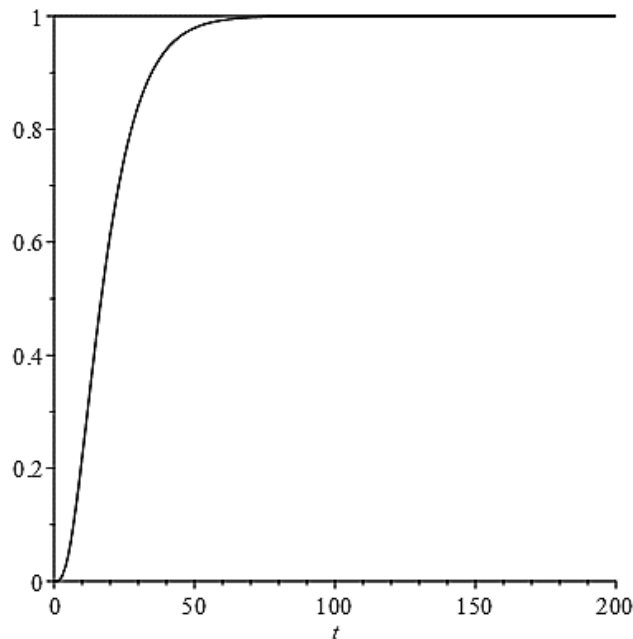


Рис.2 – Вид ФР времени пребывания системы в подмножестве E_+

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 систем технического обслуживания в автоматизированном производстве, а также применение построенной модели при оптимизации времен проведения профилактик в исследуемых системах.

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

Библиографический список

1. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен, пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем: Учеб. пособие для вузов / Е.Ю. Барзилович – М.: Высшая школа, 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, Вып. 5, 2001. – С. 187 – 193.
4. 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. Вып. 4, 2016. – С. 225-236
5. Королюк В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем / В.С. Королюк, А.Ф. Турбин – Киев: Наукова думка, 1982. – 236 с.
6. Королюк В.С. Стохастические модели систем / В.С. Королюк – Киев: Наукова думка, 1989. – 208 с.
7. Королюк В.С. Суперпозиция процессов марковского восстановления / В.С. Королюк // Кибернетика, №4, 1981. – С. 121 – 124.
8. Королюк В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королюк В.С., А.Ф. Турбин – К.: Наук. Думка, 1976. – 181 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. 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.
12. 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.
13. Копп В.Я. Исследование функционирования однокомпонентной системы с учетом непрерывной профилактики/ В.Я. Копп, П.Н. Флоря, М.В. Заморёнов, И.М. Заморёнов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, №4, 2021. – С. 69 - 76.

Bibliograficheskij spisok

1. Bajhel't F. Nadezhnost' i tekhnicheskoe obsluzhivanie. Matematicheskij podhod / F. Bajhel't, P. Franken, per. s nem. – М.: Radio i svyaz', 1988. – 392 s.
2. Barzilovich E.YU. Modeli tekhnicheskogo obsluzhivaniya slozhnyh sistem: Ucheb. posobie dlya vuzov / E.YU. Barzilovich – М.: Vysshaya shkola, 1982. – 231 s.
3. Glech S.G. Opredelenie optimal'nyh momentov profilaktiki tekhnologicheskoy yachejki s mgnovenno popolnyaemym rezervom vremeni / S.G. Glech // Sbornik nauchnyh trudov SIYAEiP, Vyp. 5, 2001. – S. 187 – 193.
4. 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. Vyp. 4, 2016. – S. 225-236
5. Korolyuk V.S. Processy markovskogo vosstanovleniya v zadachah nadezhnosti sistem / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin – Kiev: Naukova dumka, 1982. – 236 s.
6. Korolyuk V.S. Stohasticheskie modeli sistem / V.S. Korolyuk – Kiev: Naukova dumka, 1989. – 208 s.
7. Korolyuk V.S. Superpoziciya processov markovskogo vosstanovleniya / V.S. Korolyuk // Kibernetika, №4, 1981. – S. 121 – 124.
8. Korolyuk V.S. Polumarkovskie processy i ih prilozheniya / V.S. Korolyuk V.S., A.F. Turbin – K.: Nauk. Dumka, 1976. – 181 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. Kopp V.YA. Stokhasticheskie modeli avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem s vremennym rezervirovaniem / V.YA. Kopp, YU.E. Obzherin, A.I. Peschanskij – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2000. – 284 s.
12. 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.
13. Kopp V.YA. Issledovanie funkcionirovaniya odnokomponentnoj sistemy s uchetom nepreryvnoj profilaktiki/ V.YA. Kopp, P.N. Florya, M.V. Zamoryonov, I.M. Zamoryonov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki, №4, 2021. – S. 69 - 76.

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*Владимирова Елена Сергеевна, старший преподаватель, lena_vladimir@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

⁴*Чаленков Никита Игоревич, аспирант, chalenkov-nikita@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

Analysis Of The Functioning Of A Single-Component System With Continuous Prevention By The Method Of Ways

V.Ya. Kopp, P.N. Florya, E.S. Vladimirova, N.I. Chalenkov

The article analyzes a one-component system. An analysis of its functioning is carried out using a strategy of continuous prevention - such prevention, during which the working element continues to function during prevention. When using the path method, the distribution functions of the sojourn times of the system in subsets of healthy and unworkable 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 coarsening algorithm, distribution function, path method.

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

Vladimirova Elena Sergeevna, Senior Lecturer, lena_vladimir@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Chalencov Nikita Igorevich, postgraduate, chalencov-nikita@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

ВЕРОЯТНОСТНОЕ КОДИРОВАНИЕ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ИСПРАВЛЕНИЕМ ОШИБОК

Моисеев Д.В.¹, Шокин А.Г.², Серяк Е.С.³

Аннотация. Приведен метод синтеза модулированного сигнала при помощи псевдослучайных последовательностей. Отображено прямое и обратное преобразование сигнала, указаны механизмы обнаружения и исправления ошибок. Показан принцип сокращения времени восстановления преобразуемой величины в канале без помех. Изображена реализация этого принципа в виде схемы раскрывающей суть данного принципа и механизма обнаружения и множественного исправления ошибок.

Ключевые слова. Вероятность, вероятностная форма, помехоустойчивость, компарация, CDMA, обнаружение ошибок, исправление ошибок, синдром ошибки.

Введение. В общем виде суть стохастического или вероятностного преобразования информации в непозиционное вероятностное отображение (ВО) заключается в том, что любому значению преобразуемой величины можно привести в соответствие некоторую вероятность – вероятность того, что значение преобразуемой величины будет больше величины, сгенерированной случайным образом внутри диапазона изменения преобразуемой величины. Одним из перспективных направлений применения вероятностного представления и преобразования информации (ВППИ), в настоящее время, являются станки с ЧПУ, поскольку остро стоит вопрос перевода их на отечественную элементную базу. Реализация вычислительных устройств (ВУ), выполняющих арифметические и логические операции над ВО, приводит к многократному уменьшению аппаратного объёма ВУ, а само ВППИ обеспечивает помехоустойчивость и криптографическую стойкость обрабатываемой и передаваемой информации [1–5].

Разработка систем с кодовым разделением каналов известна благодаря ряду современных статей и патентов, в настоящий момент эта теория воплощается в физические устройства. CDMA сети успешно применяются в современном мире, научная общественность ведет упорные изыскания в данной области, о чем свидетельствуют работы Семенко А.И. – посвященные повышению качества псевдослучайных последовательностей (ПСП) [6], Антонова В.А. – посвященные оценкам потерь при использовании CDMA сетей [7], и ряд других работ.

Цель исследования

Исследовать принципы получения сложного модулированного сигнала при помощи псевдослучайных последовательностей, а также выявление корректирующей способности вероятностного кодирования с множественным исправлением ошибок.

Постановка задачи. Исследовать принципы получения сложного модулированного сигнала при помощи псевдослучайных последовательностей, уменьшение обратной зависимости влияния точности на быстродействие вероятностных преобразователей в сетях CDMA.

Постановка задачи. Исследовать принципы получения сложного модулированного сигнала при помощи псевдослучайных последовательностей. Уменьшения обратной зависимости влияния точности на быстродействие вероятностных преобразователей в сетях CDMA.

В основе принципа вероятностного представления информации лежит следующее выражение [8]:

$$p_{ij} = \begin{cases} 1 \forall a_i \geq R_j \\ 0 \forall a_i < R_j \end{cases} \quad (1)$$

где p_{ij} – j -е значение вероятностного отображения из множества:

$$p_i = \{p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, \dots, p_{ij}, \dots, p_{ik}\}; \quad (2)$$

a_i – i -е преобразуемое значение; j – цикл вероятностного преобразования; R_j – произвольное значение из ряда:

$$R\{r_1, r_2, r_3, \dots, r_j, \dots, r_k\}.$$

Формула (1) позволяет генерировать модулированный ПСП сигнал, обладающий высокими корректирующими способностями. Корректирующие способности подробно рассматриваются в статье [8], так формирование синдрома ошибки для вероятностного отображения p_{ij}^C , при помощи восстановленного значения p_{ij}^B описывает следующее выражение:

$$a_i^* = \{M[p_i(t)]\}^* = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K (p'_{ij} \oplus p_{ij}^C) = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K (p'_{ij} \oplus (p'_{ij} \oplus p_{ij}^B)), \quad (3)$$

где p'_{ij} – искаженное значение принятого вероятностного отображения. Применяя формулу (3) можно перейти к рассмотрению информационного тракта реализующего выше изложенные принципы.

Основой предлагаемого решения является применение в передатчике и приемнике одинаковых аппаратно и согласованных по исходной кодовой комбинации генераторов ПСП (ГПСП). В передатчике первый ГПСП

используется в блоке вероятностного преобразования передаваемого сигнала, в приемнике второй ГПСП выполняет функцию определения маски потенциальной множественной ошибки.

Структурная схема информационного тракта показана на **Рис.1**.

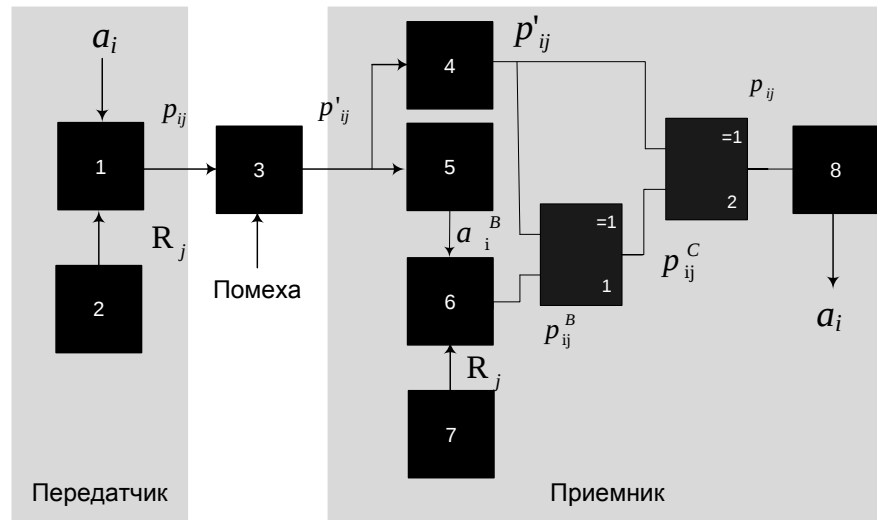


Рис.1 – Схема информационного тракта с вероятностным методом исправления ошибки

где 1, 6 – схемы вероятностного преобразования;
 2 – ГПСП передатчика;
 3 – канал связи;
 4 – К - разрядный регистр сдвига;
 5 – схема восстановления;
 7 – ГПСП приемника;
 8 – схема восстановления.

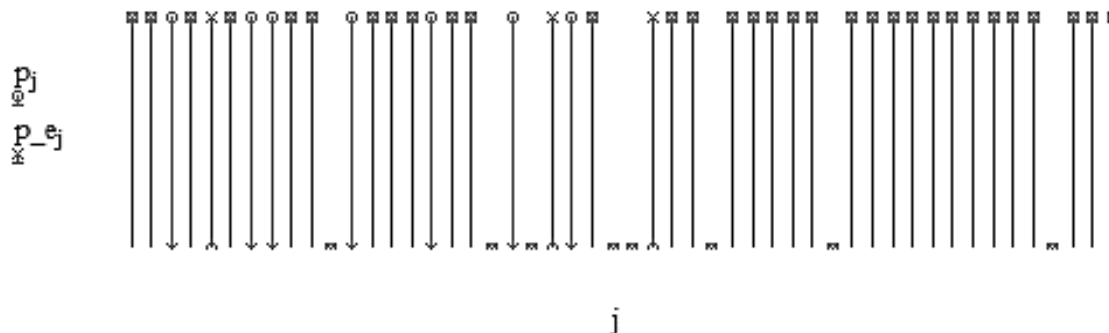


Рис.2 – График значений ВО на входе и на выходе канала связи

Работа схемы заключается в следующем: передаваемое значение a_i , совместно с вспомогательным случайным сигналом R_j , формируемым схемой 2, поступают на вход схемы 1, которая выполняет преобразование

исходного сигнала a_i в значения вероятностного отображения (ВО) p_{ij} (Рис.2). Затем передаются в канал связи с помехами 3, на выходе которого формируется искаженное значение ВО p'_{ij} (Рис.2), поступающее одновременно на вход схем 4 и 5, на выходе схемы 5 формируется восстановленное значение a_i^B , которое совместно с вспомогательным случайным сигналом R_j , формируемым схемой 7, поступает на вход схемы 6, генерирующей значения ВО p_{ij}^B , выход схемы 6, вместе с выходом схемы 4 поступают на элемент суммирования по $\text{mod } 2$, выход которого, вместе с выходом схемы 4 соединен со входом второго элемента суммирования по $\text{mod } 2$, на его выходе формируется исправленные значения ВО, поступающие на вход схемы 8, выход которой является выходом всей схемы, формирующей исходное значение a_i . Процесс формирования синдрома ошибки полученного согласно выражения (3) показан на Рис.3.

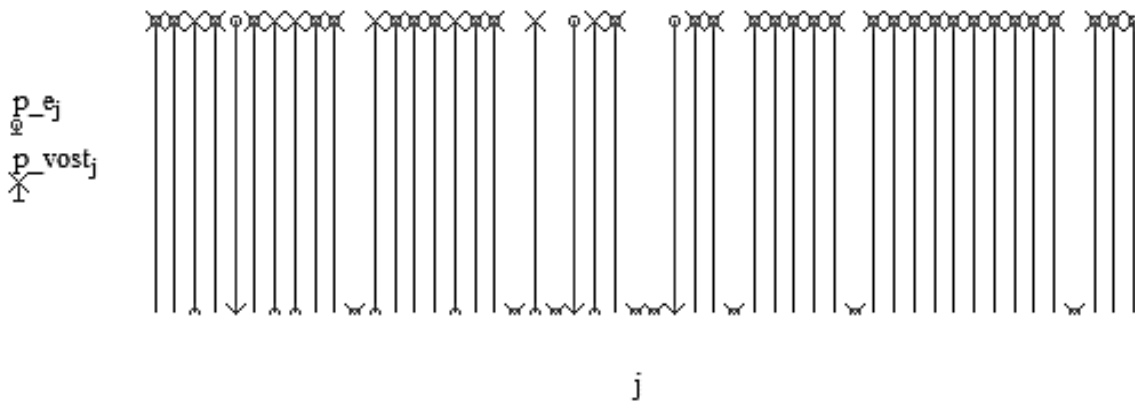


Рис.3 – Процесс формирования синдрома ошибки

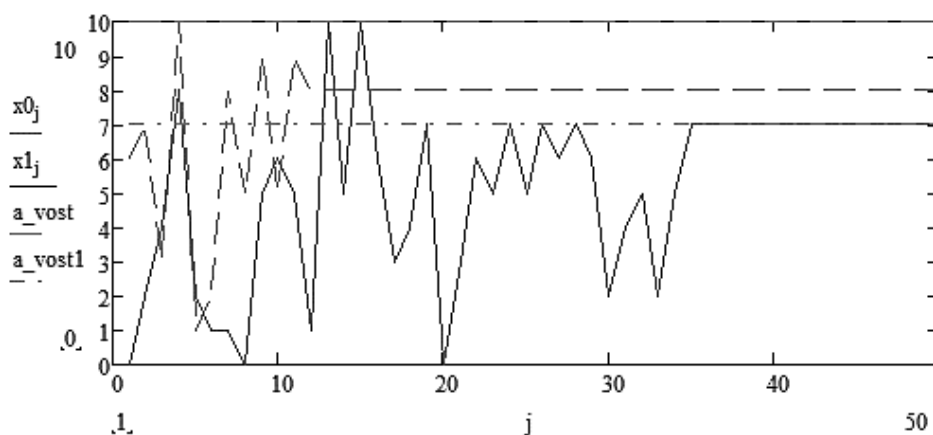
Предлагаемое решение позволяет получать сложный сигнал на базе псевдослучайных последовательностей, при этом основное отличие от распространенного метода, применяемого в сетях CDMA, заключается в применении компарации, согласно формулы (1). Кроме того, предложенный метод обладает высокой корректирующей способностью, обусловленной как способом получения модулированного сигнала согласно формулы (3), так и общими свойствами шумоподобных сигналов.

Нахождение исходного значения преобразуемого сигнала a_i при помощи решения формулы (1) показывает, что процесс восстановления информации представленной в вероятностной форме может быть оптимизирован. Одним из преимуществ вытекающих из системы неравенств (4) является использование ее в качестве системы для нахождения признака ошибки. Другим и не менее полезным свойством, вытекающим из решения системы неравенств, является возможность

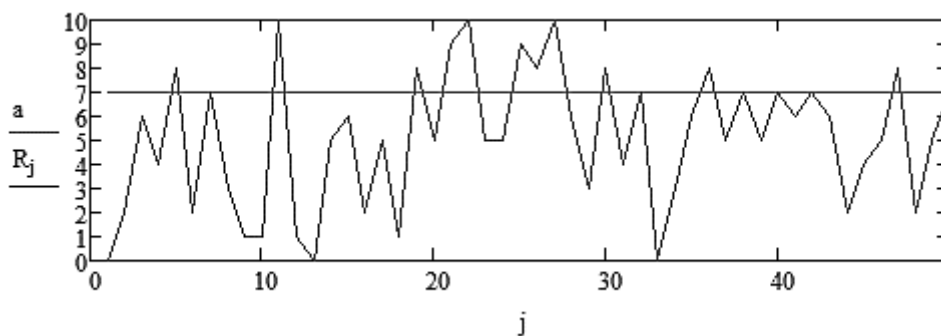
«быстрого» восстановления исходного значения до прохождения всех разрядов вероятностного отображения. Однако стоит отметить, что последнее описанное свойство допустимо в системах передачи данных без ошибок.

$$\begin{cases} \forall \max\{R_j \in (p_{ij} = 1)\} < \min\{R_j \in (p_{ij} = 0)\}, \\ a_i = \max\{R_j \in (p_{ij} = 1)\}. \end{cases} \quad (4)$$

Быстрое восстановление заключается в сходимости первого выражения из системы (4) в пределах величины квантования измеряемого значения, которое так же является и неравенством для проверки на наличие ошибки. Обращаясь к этой системе следует отметить, что в случае если максимальное значение по множеству случайных значений вспомогательной величины принадлежащих соответствующим единичным значениям разрядов вероятностного отображения не превышает минимальное значение из множества случайных значений вспомогательной величины принадлежащих соответствующим нулевым значениям разрядов вероятностного отображения, то можно судить об отсутствии ошибок.



а)



б)

Рис.4 – Применение свойств вероятностно представленных данных:
а) определение синдрома ошибки и ее исправление,
б) быстрое вероятностное восстановление

Принцип, заложенный в системе (4) легко представить в виде рисунка 4. На **Рис.4а** изображен процесс выборки $\max\{R_j \in (p_{ij} = 1)\}$ (на графике $x1_j$) и $\min\{R_j \in (p_{ij} = 0)\}$ (на графике $x0_j$), на нем явно видно нарушение неравенства (4), так же представлены значения восстанавливаемого значения с использованием формулы (3) (на графике a_vost1) и без нее (на графике a_vost1)

На **Рис.4б** показан преобразуемый (a_i) и вспомогательный (R_j) сигналы; при этом видно, что в случае передачи данного сигнала по каналу связи без помех его восстановление возможно на седьмом принятом разряде вероятностного отображения. Рассматривая применение (4) системы неравенств, видим, что на пятом принятом разряде вероятностного отображения будет найдено значение $\min\{R_j \in (p_{ij} = 0)\} = 8$, а на седьмом $\max\{R_j \in (p_{ij} = 1)\} = 7$, как уже было сказано выше в случае ограничения в пределах квантования входного значения сверху последнего выражения, его решение и будет искомым значением.

Результаты и их обсуждение. В предложенной статье предложено применение компорационных методов расширения спектра сигнала при помощи шумоподобных ПСП. Приведены механизмы, позволяющие выполнять коррекцию принимаемых вероятностно представленных данных, а так же систему неравенств, позволяющих определять наличие ошибки в принимаемой последовательности. Для случая применения таких сигналов в системах связи без помех система (4) позволяет сократить процесс восстановления вероятностно представленных данных.

Библиографический список:

1. Гладкий В.С. Вероятностные вычислительные модели / В.С. Гладкий. – М.: Наука, 1973. – 300 с.
2. Яковлев В.В. Стохастические вычислительные машины / В.В. Яковлев, Р.Ф. Федоров. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1974. – 344 с.
3. Федоров Р.Ф. Стохастические преобразователи информации / Р.Ф. Федоров, В.В. Яковлев, В.Г. Добрис. – Л.: Машиностроение, 1978. – 304 с.
4. Четвериков В.Н. Вычислительная техника для статистического моделирования / В.Н. Четвериков, Э.А. Баканович, А.В. Меньков; под ред. В.Н. Четверикова. – М.: Сов. радио, 1978. – 312 с.
5. Кирьянов Б.Ф. Основы теории стохастических вычислительных машин / Б.Ф. Кирьянов; Казан. авиац. институт – Казань, 1975. – 186 с. – Деп. в ЦНИИТЭИ приборостроения 21.05.76. – № 524.
6. Семенко А.И., Создание телекоммуникационных систем с кодовым разделением каналов на основе сети электропитания / А.И. Семенко, Н.И.

- Бокла, А.А. Макаренко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку, Науково-виробничий збірник, Вип. 4(17), 2010. – С. 89-92.
7. Антонов В. А. Оценка потерь информации при передаче сигналов CDMA при наличии окон замирания / В.А. Антонов, К.В. Пшеницын, С.В. Мульганов // Журнал университета водных коммуникаций, №3, 2010. №3 URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-poter-informatsii-pri-peredache-signalov-cdma-pri-nalichii-okon-zamiraniya>
8. Шокин А.Г. Новые методы помехоустойчивого кодирования информации/ А.Г. Шокин, Н.Е. Сапожников, Моисеев Д.В. // Восточно-европейский журнал передовых технологий, Информационно-управляющие системы, 6/9 (60), 2012. – С. 26-30.

Bibliograficheskiy spisok

1. Gladkij V.S. Veroyatnostnye vychislitel'nye modeli / V.S. Gladkij. – М.: Nauka, 1973. – 300 s.
2. YAKovlev V.V. Stokhasticheskie vychislitel'nye mashiny / V.V. YAKovlev, R.F. Fedorov. – L.: Mashinostroenie, Leningr. otd., 1974. – 344 s.
3. Fedorov R.F. Stokhasticheskie preobrazovateli informacii / R.F. Fedorov, V.V. YAKovlev, V.G. Dobris. – L.: Mashinostroenie, 1978. – 304 s.
4. CHetverikov V.N. Vychislitel'naya tekhnika dlya statisticheskogo modelirovaniya / V.N. CHetverikov, E.A. Bakanovich, A.V. Men'kov; pod red. V.N. CHetverikova. – М.: Sov. radio, 1978. – 312 s.
5. Kir'yanov B.F. Osnovy teorii stokhasticheskikh vychislitel'nykh mashin / B.F. Kir'yanov; Kazan. aviac. institut – Kazan', 1975. – 186 s. – Dep. v CNIITEI priborostroeniya 21.05.76. – № 524.
6. Semenko A.I., Cozdanie telekommunikacionnykh sistem s kodovym razdeleniem kanalov na osnove seti elektropitaniya / A.I. Semenko, N.I. Bokla, A.A. Makarenko // Naukovi zapiski Ukraïns'kogo naukovо-doslidnogo institutu zv'yazku, Naukovo-virobnichij zbirk, Vyp. 4(17), 2010. – S. 89-92.
7. Antonov V. A. Ocenka poter' informacii pri peredache signalov CDMA pri nalichii okon zamiraniya / V.A. Antonov, K.V. Pshenicyn, S.V. Mul'ganov // ZHurnal universiteta vodnykh kommunikacij, №3, 2010. №3 URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-poter-informatsii-pri-peredache-signalov-cdma-pri-nalichii-okon-zamiraniya>
8. SHokin A.G. Novye metody pomekhoustojchivogo kodirovaniya informacii/ A.G. SHokin, N.E. Sapozhnikov, Moiseev D.V. // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovykh tekhnologij, Informacionno-upravlyayushchie sistemy, 6/9 (60), 2012. – S. 26-30.

¹Моисеев Дмитрий Владимирович, д.т.н., профессор,
dvmoiseev@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский
государственный университет

²Шокин Александр Геннадьевич, к.т.н., доцент, agshokin@sevsu.ru,
Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

³Серяк Евгений Сергеевич, магистрант 2-го курса, esseryak@sevsu.ru,
Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

PROBABLE CODING WITH MULTIPLE ERROR CORRECTIONS

D.V. Moiseev, A.G. Shokin, E.S. Seryak

The paper considers a method for synthesizing a modulated signal using pseudo-random sequences. The direct and inverse conversion of the signal is displayed, the mechanisms for detecting and correcting errors are shown. The principle of reducing the recovery time of the converted value in the channel without interference is shown. The implementation of this principle is shown in the form of a diagram revealing the essence of this principle and the mechanism for detecting and multiple correction of errors.

Key words: probability, probabilistic form, noise immunity, comparison, CDMA, error detection, error correction, error syndrome.

Moiseev Dmitry Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor,
dvmoiseev@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Shokin Alexander Gennadievich, Ph.D., associate Professor,
agshokin@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Seryak Evgeny Sergeevich, master's degree, esseryak@sevsu.ru, Russia,
Sevastopol, Sevastopol State University

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОДНОКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ С НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОФИЛАКТИКОЙ

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

Аннотация. В статье проводится анализ однокомпонентной системы с учетом стратегии непрерывной профилактики. Разрабатывается имитационная модель системы, учитывающая влияние 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, непрерывная профилактика, машинный эксперимент.

Одним из основных этапов разработки и модернизации оборудования является моделирование [1]. Аналитическое моделирование [2, 3, 4] позволяет использовать иерархический подход к построению моделей систем, при котором сложная система разбивается на простейшие составляющие. Однако, правильность построения аналитических моделей обусловлена корректным применением математического аппарата, что требует проводить имитационное моделирование [5, 6, 7, 8, 9] исследуемой системы и сравнивать результаты, для исключения вероятных ошибок при построении моделей.

В данной работе рассматривается модель функционирования однокомпонентной системы с учетом непрерывной 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 α_1 , α_2 , β_1 , β_2 предполагаются независимыми,

имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР $F_1(t)$, $F_2(t)$, $G_1(t)$, $G_2(t)$ существуют плотности $f_1(t)$, $f_2(t)$, $g_1(t)$, $g_2(t)$.

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

Опишем состояния на графе: 221_x – началась профилактика, работа системы продолжается; время, оставшееся до окончания ее работы $x > 0$; 210 – профилактика завершена, работа системы началась сначала; 100 – работа системы завершена, профилактика прервана; 102_{z1} – системы завершила работу, началось восстановление; время, оставшееся до проведения профилактики $z1 > 0$; 112_{z2} – произошло восстановление системы; время, оставшееся до проведения профилактики $z2 > 0$; 200_y – профилактика не проводится, т.к. момент профилактики попал на момент восстановления системы; время, оставшееся до окончания восстановления $y > 0$.

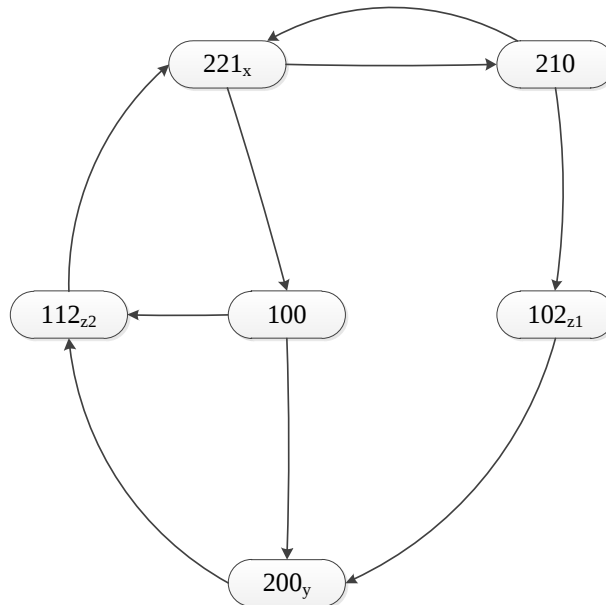


Рис.1 – Граф состояний системы

При построении полумарковской модели были 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:

$$E_+ = \{221_x, 210, 112_{z2}\},$$

$$E_- = \{100, 200_y, 102_{z1}\}.$$

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

$$F_+(s) = \frac{P_{221}^{210} P_{210}^{102} F_{112}(s) F_{221}(s) F_{210}(s)}{1 - P_{221}^{210} P_{210}^{102} F_{221}(s) F_{210}(s)} + \frac{P_{03} F_{112}(s) F_{210}(s)}{1 - P_{221}^{210} P_{210}^{102} F_{221}(s) F_{210}(s)},$$

$$F_-(s) = \frac{\rho_{100} \cdot (P_{100}^{112} \cdot F_{100}(s) + P_{100}^{200} \cdot F_{100}(s) \cdot F_{200}(s))}{\rho_{100} + \rho_{102}} + \frac{\rho_{102} \cdot F_{102}(s) \cdot F_{200}(s)}{\rho_{100} + \rho_{102}}.$$

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.

Ниже приведен листинг программы на языке GPSS.

```
nch      equ      1
generate ,,1
met1     seize notk
          advance (Exponential(nch,0,22.5))
          advance (Exponential(nch,0,7.5))
          release notk
          seize vost
          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,0,0.15))
          advance (Exponential(nch,0,0.05))
          release prof
          gate nu vost,met3
          seize pprof
          preempt notk,,met2,,re
          return notk
          advance (Exponential(nch,0,0.125))
          advance (Exponential(nch,0,0.375))
```

```

release pprof
transfer ,met3
generate 100000
terminate 1

```

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

$$\lambda_1 = 0,1333 \text{ ч}^{-1}, \lambda_2 = 0,0444 \text{ ч}^{-1}; \mu_1 = 0,4 \text{ ч}^{-1}, \mu_2 = 0,1333 \text{ ч}^{-1}; \\ \nu_1 = 20,0 \text{ ч}^{-1}, \nu_2 = 6,6667 \text{ ч}^{-1}; \gamma_1 = 8,0 \text{ ч}^{-1}, \gamma_2 = 2,6667 \text{ ч}^{-1}.$$

Результаты имитационного моделирования сведены в таблицу 1.

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	0,976	11	0,973	21	0,975	0,938	0,981	0,73
2	0,973	12	0,972	22	0,974			
3	0,974	13	0,974	23	0,974			
4	0,972	14	0,974	24	0,972			
5	0,972	15	0,976	25	0,978			
6	0,971	16	0,976	26	0,969			
7	0,975	17	0,975	27	0,975			
8	0,978	18	0,973	28	0,973			
9	0,972	19	0,976	29	0,971			
10	0,974	20	0,972	30	0,974			

Созданная имитационная модель подтвердила правильность построения аналитической модели однокомпонентной системы с учетом календарной профилактики. Относительная погрешность по результатам экспериментов составила 0,73%, 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. – 700с.
2. Королёк В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королёк, 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.
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. – 700s.
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 – DMK, Press 2004.
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*Kopp 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*

⁴*Малицкая Александра Александровна, ассистент, malitskaya@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

SIMULATION MODEL OF A SINGLE-COMPONENT SYSTEM WITH CONTINUOUS PREVENTION

V. Ya. Kopp, P.N. Florya, M.V. Zamoryonov, A.A. Malitskaia

The article analyzes a one-component system, taking into account the strategy of continuous prevention. A simulation model of the system is being developed, taking into account the impact of prevention 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, continuous 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

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

ОПТИМАЛЬНОЕ ПЕРЕНОСНОЕ ДВИЖЕНИЕ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Бохонский А.И

Аннотация. На примере систем с двумя степенями свободы без учета и с учетом линейно-вязкого сопротивления исследовано динамическое поведение упругих объектов (колебания в относительном движении) при оптимальном переносном движении. Показано, что для построения структурных схем линейных многомерных систем в Simulink, описываемых системой дифференциальных уравнений, может быть использован метод главных координат, хорошо известный в теории колебаний систем с произвольным числом степеней свободы.

Ключевые слова. Упругая система, две степени свободы, переносное движение, метод главных координат, использование Simulink, колебания в относительном движении, достижение состояния покоя.

Исследованию оптимальных управлений переносным движением упругих систем посвящена работа [1], в которой использовался Simulink для визуального моделирования динамики относительного движения упругих объектов техники.

Реальные системы автоматического управления часто многомерны и для их исследования необходимо строить структурные схемы, отражающие взаимосвязь регулируемых величин [2, 3]. В системах управления для графического представления структуры (например, для последующего анализа в Simulink) применяется сигнальный граф, отражающий структуру с многими входами и выходами и по существу являющийся моделью исходной системы. В [3] рассмотрена методология применения сигнальных графов для моделирования многомерных многоконтурных систем. Однако нельзя не отметить, что и до настоящего времени все еще остаются известные трудности моделирования сложных многомерных систем.

Цель данной статьи – исследование динамики оптимального переносного движения упругих систем в Simulink с проверкой эффективности применения в процессе моделирования известного в теории колебаний метода главных координат.

Разложение движения системы с конечным числом степеней свободы по формам собственных колебаний позволяет путем введения новых (главных) координат независимо решать отдельные уравнения по каждой главной координате, а затем переходить к исходным координатам. Метод главных координат используется после составления дифференциальных

уравнений в физических обобщенных координатах, вычисления частот свободных колебаний и коэффициентов, определяющих моды колебаний.

Уравнения в главных координатах записываются так:

$$\frac{d^2 q_k}{dt^2} + \omega_k^2 q_k = \frac{Q_k(t)}{M_k}, \quad (k=1, \dots, n)$$

где $Q_k(t) = \sum_{i=1}^n F_i(t) \nu_{ik}$, $M_k = \sum_{i=1}^n m_i \nu_{ik}^2$. Физические координаты через главные

определяются согласно зависимости $x_i(t) = \sum_{k=1}^n q_k(t) \nu_{ik}$. Приняты обозначения: ν_{ik} – амплитудное смещение i -й массы при k -й форме колебаний; $F_i(t)$ – внешнее воздействие; ω_k – частота собственных колебаний.

Алгоритм применения метода главных координат иллюстрируется на простом примере механической системы с двумя степенями свободы, схема которой изображена на **Рис.1**.



Рис.1 – Схема переносного движения с ускорением $U_e(t)$ системы с двумя степенями свободы

Дифференциальные уравнения движения без учета сопротивления движению записываются уравнениями:

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + (C_1 + C_2)x_1 - C_2 x_2 = m_1 U_1(t), \quad (1)$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} - C_2 x_1 + C_2 x_2 = m_2 U_2(t),$$

где m_1 и m_2 – сосредоточенные массы; C_1, C_2 – коэффициенты жесткости; x_1, x_2 – координаты; $U_1 = U_2 = U_e$ – ускорение переносного движения. Из (1) без учета правых частей после подстановки частных решений $x_1 = A_1 \sin \omega t$ и $x_2 = A_2 \sin \omega t$ и преобразований следует однородная система алгебраических уравнений

$$\begin{cases} (C_1 + C_2 - m_1 \omega^2) A_1 - C_2 A_2 = 0 \\ -C_2 A_1 + (C_2 - m_2 \omega^2) A_2 = 0 \end{cases}, \quad (2)$$

из которой при $A_1 \neq 0$ и $A_2 \neq 0$ следует определитель:

$$\begin{vmatrix} C_1 + C_2 - m_1 \omega^2 & -C_2 \\ -C_2 & C_2 - m_2 \omega^2 \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Из (3) находятся частоты свободных колебаний (ω_1 и ω_2). Соотношение между амплитудами колебаний из первого уравнения системы (2) принимает вид:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{C_1 + C_2 - m_1 \omega^2}{C_2}. \quad (4)$$

В соответствии с идеей метода главных координат амплитудные смещения ν_{ik} i -й массы, где k – номер формы колебаний, вычисляется так:

$$\begin{aligned} \nu_{11} &= 1; & \nu_{12} &= 1; \\ \nu_{21} &= \frac{C_1 + C_2 - m_1 \omega_1^2}{C_2}; & \nu_{22} &= \frac{C_1 + C_2 - m_1 \omega_2^2}{C_2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Физические координаты $x_1(t)$ и $x_2(t)$ через вводимые главные [4] координаты $q_1(t)$ и $q_2(t)$ выражаются следующим образом:

$$\begin{aligned} x_1(t) &= \nu_{11} q_1(t) + \nu_{12} q_2(t), \\ x_2(t) &= \nu_{21} q_1(t) + \nu_{22} q_2(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Уравнения в главных координатах

$$\begin{aligned} \frac{d^2 q_1}{dt^2} + \omega_1^2 q_1 &= \frac{Q_1(t)}{M_1}, \\ \frac{d^2 q_2}{dt^2} + \omega_2^2 q_2 &= \frac{Q_2(t)}{M_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

где обобщенные силы $Q_1(t) = U_1 \nu_{11} + U_2 \nu_{12}$, $Q_2(t) = U_1 \nu_{21} + U_2 \nu_{22}$. Обобщенные массы,

соответственно, $M_1 = m_1 \nu_{11}^2 + m_2 \nu_{21}^2$, $M_2 = m_1 \nu_{12}^2 + m_2 \nu_{22}^2$.

Пример 1. Построение структурной схемы [5], основанной на методе главных координат (Рис.2).

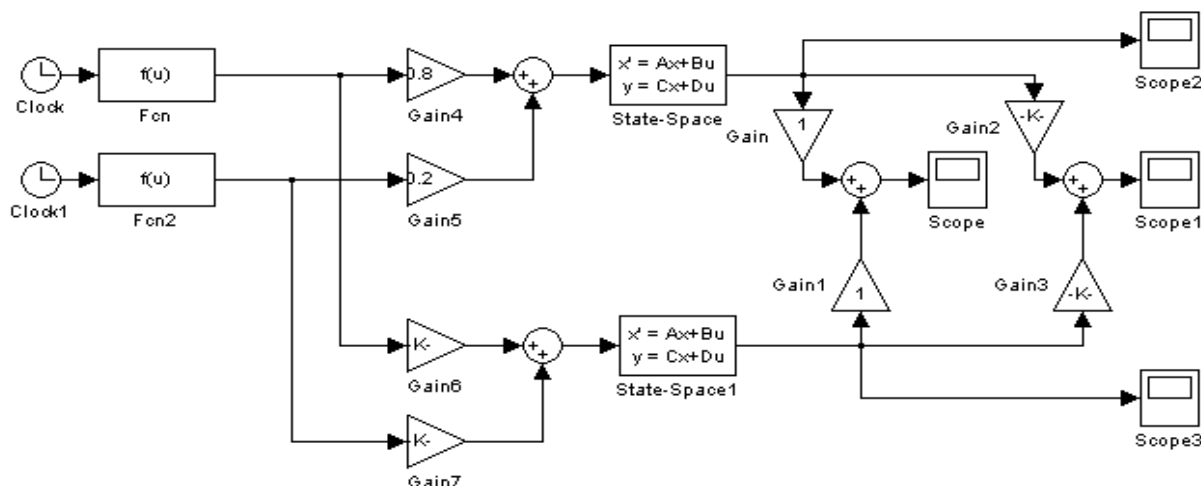


Рис.2 – Структурная схема, построенная с использованием метода главных координат

По структурной схеме теперь легко построить матрицу передаточных функций, связывающих входы и выходы. Исходные данные для системы: $m_1 = 40 \text{ кг}$; $m_2 = 10 \text{ кг}$; $C_1 = 2000 \text{ н/м}$; $C_2 = 1000 \text{ н/м}$. Для переносного движения всей системы: $L = 1 \text{ м}$; $p = \omega_1/2 \text{ с}^{-1}$. Принято оптимальное [1] ускорение переносного движения всей системы:

$$U_1 = U_2 = U_e = -\frac{Lp^2}{2\pi} \sin(pt) = -1.4308 \sin(2.9984t)$$

Вычисленные величины. Частоты собственных колебаний: $\omega_1 = 5.9968 \text{ с}^{-1}$; $\omega_2 = 11.7915 \text{ с}^{-1}$. Им соответствуют периоды колебаний: $T_1 = 1.0478 \text{ с}$; $T_2 = 0.5329 \text{ с}$. Коэффициенты форм колебаний: $\nu_{21} = 1.516$; $\nu_{22} = -2.5616$. Обобщенные массы: $M_1 = 50 \text{ кг}$; $M_2 = 105.615 \text{ кг}$.

Дифференциальные уравнения в главных координатах для принятых исходных данных записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 q_1}{dt^2} + 35.9612 q_1 &= -1.4308 \sin(2.9984t), \\ \frac{d^2 q_2}{dt^2} + 139.0388 q_2 &= -0.4992 \sin(2.9984t). \end{aligned} \quad (8)$$

На **Рис.3** изображены графики перемещения и скорости сосредоточенной массы m_1 (в относительном движении). За время $T = 2T_1$,

которое соответствует двум периодам первого тона колебаний, с учетом отключения U_e в момент времени T наблюдается абсолютный покой сосредоточенной массы. Структурная схема, построенная в Simulink (изображена на рисунке 2), позволяет не только исследовать поведение системы в исходных физических координатах, но и анализировать зависимости вида $q_1(t)$, $\frac{dq_1(t)}{dt}$ и $q_2(t)$, $\frac{dq_2(t)}{dt}$; $x_1(t)$, $v_1(t)$ и $x_2(t)$, $v_2(t)$.

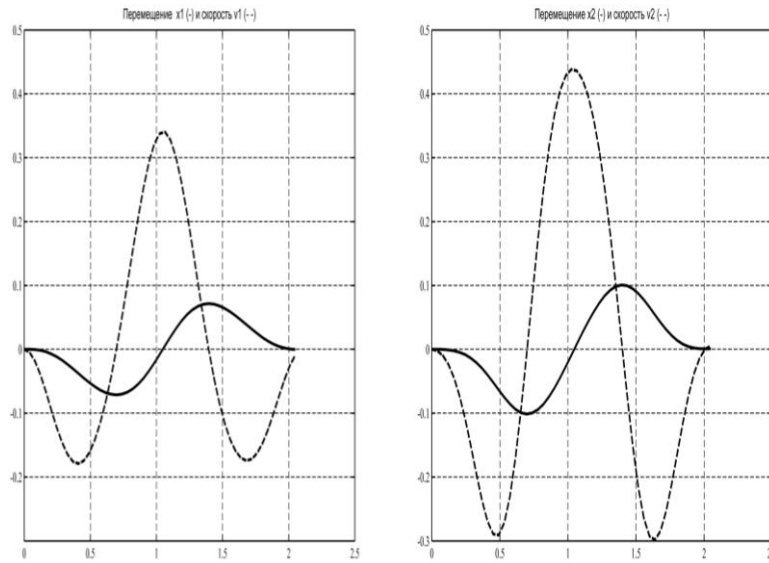


Рис.3 – Перемещение $x_1(t)$ и скорость $v_1(t)$ первой массы (слева) и перемещение $x_2(t)$ и скорость $v_2(t)$ второй массы (справа)

Пример 2. С целью проверки корректности использования метода главных координат выполнено непосредственное численное интегрирование исходной системы дифференциальных уравнений (1), которая записана в форме Коши:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= -75y_1 + 25y_3 - 1.4308\sin(2.9984t), \\ \frac{dy_3}{dt} &= y_4, \\ \frac{dy_4}{dt} &= 100y_1 - 100y_3 - 1.4308\sin(2.9984t), \end{aligned} \tag{9}$$

где $y_1 \equiv x_1$, $y_2 \equiv \frac{dx_1}{dt}$, $y_3 \equiv x_2$, $y_4 \equiv \frac{dx_2}{dt}$. Как и следовало ожидать, при нулевых начальных условиях в результате численного интегрирования графики перемещений сосредоточенных масс $x_1(t)$ и $x_2(t)$ практически совпадают с предыдущими вычислениями.

Пример 3. Учет линейно-вязкого сопротивления в [1] при оптимальном перемещении упругой системы с одной степенью свободы. Без учета сопротивления в [1] детально изучено оптимальное переносное движение упругого осциллятора, уравнение движения которого

$$\frac{d^2 x_r}{dt^2} + \omega^2 x_r = -U_e(t), \quad (10)$$

где для переносного ускорения использовалась зависимость

$$U_e(t) = \frac{Lp^2}{2\pi} \sin pt. \quad (11)$$

В самом простом случае $p = \frac{\omega}{n}$, где $n = 2$. С учетом линейно вязкого сопротивления уравнение движения осциллятора

$$\frac{d^2 x_r}{dt^2} + 2n_* \frac{dx_r}{dt} + \omega^2 x_r = -U_e^*(t), \quad (12)$$

где n_* – коэффициент затухания, $U_e^*(t)$ – подлежащее определению ускорение в переносном движении, которое должно обеспечить абсолютный покой системы в момент $t = T$. Управление $U_e^*(t)$ найдено из условия, что движение системы с линейно-вязким сопротивлением должно происходить так же, как системы без сопротивления. Тогда, вычитая уравнение (10) из уравнения (12), получим:

$$U_e^*(t) = U_e(t) - 2n_* \frac{dx_r}{dt}. \quad (13)$$

Самая простая структурная схема реализуется в Simulink. Дифференцирующее звено в обратной связи обеспечивает «подавление» сопротивления и система движется как идеальная (без сопротивления).

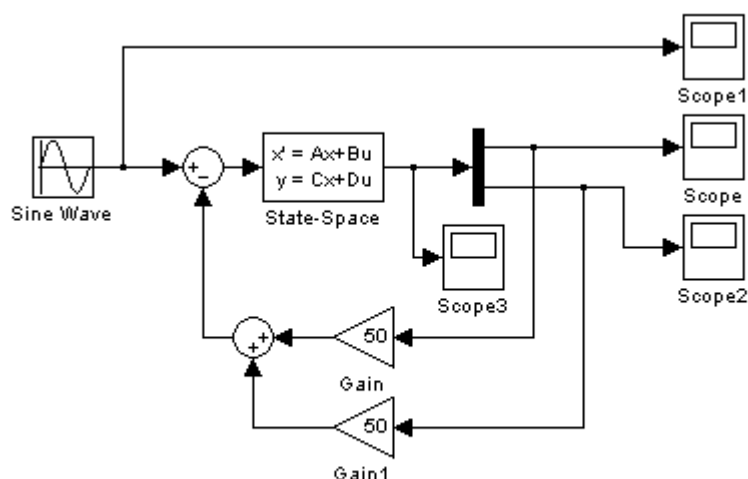


Рис.4 – Система с двумя степенями свободы при учете линейно-вязкого сопротивления.

В системе с двумя степенями свободы без обратной связи при учете линейно-вязкого сопротивления и управлении (11) не достигается абсолютного покоя сосредоточенных масс m_1 и m_2 в конечный момент времени. При использовании обратной связи (структурная схема в Simulink изображена на **Рис.4**) не только достигается абсолютный покой в конце движения, но и существенно снижаются максимальные перемещения масс на временном интервале переносного движения системы. Обратная связь усиливает демпфирование колебаний, снижая их уровень на порядок и более.

Вывод. Метод главных координат облегчает построение структурных схем многомерных систем при их исследовании с использованием Simulink и существенно упрощает построение матрицы передаточных функций таких систем. Представляет интерес распространение метода главных координат на сложные управляемые механические системы, которыми являются, например, исполнительные органы манипуляторов минимальной массы.

Библиографический список

1. Бохонский А.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, М.И. Мозолевский – Севастополь, Изд-во СевНТУ, 2007. – 296 с.
2. Зайцев Г.Ф. Основы автоматического управления и регулирования / Г.Ф.Зайцев, В.И.Косюк, П.И.Чинаев – К.: «Техніка», 1975.– 496 с

3. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер с англ. Б.И. Копылова – М: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 852 с.
4. Бидерман В.Л. Прикладная теория колебаний / В.Л. Бидерман – М.: «Высш. школа», 1972. – 416 с.
5. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И.В. Черных – М.: Диалог–МИФИ, 2003. – 496 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Bokhonskiy A.I. Optimal control of portable motion of deformable objects: theory and technical applications / A.I. Bokhonsky, N.I. Warminskaya, M.I. Mozolevsky. - Sevastopol, SevNTU Publishing House, 2007. – 296 p.
2. Zaitsev G.F. Fundamentals of automatic control and regulation / G.F. Zaitsev, V.I. Kosyuk, P.I. Chinaev. - K.: "Tekhnika", 1975. - 496 p.
3. Dorf R. Modern control systems / R. Dorf, R. Bishop. Per from English. B.I. Kopylova. - M: Laboratory of Basic Knowledge, 2002. - 852 p.
4. Biderman V.L. Applied theory of oscillations / V.L. Biderman. - M.: "Higher school", 1972. - 416 p.
5. Chernykh I.V. Simulink: an environment for creating engineering applications / I.V. Black. Simulink. – M.: Dialog – MEPhI, 2003. – 496 p.

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

OPTIMUM PORTABLE MOTION SYSTEM WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

A.I. Bokhonsky

On the example of systems with one and two degrees of freedom without and taking into account linear-viscous resistance, the dynamic behavior of elastic objects (oscillations in relative motion) is investigated under optimal transferable motion. It is shown that the method of principal coordinates, well known in the theory of oscillations of systems with an arbitrary number of degrees of freedom, can be used to construct structural diagrams of linear multidimensional systems in Simulink, described by a system of differential equations.

Keywords: elastic system, two degrees of freedom, transferable motion, method of main coordinates, using Simulink, oscillations in relative motion, reaching a state of rest.

Bokhonsky Alexander Ivanovich, Dr. Sci., prof., bohon.alex@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Прейс В.В.¹, Заморёнов М.В.², Чаленков Н.И.³

Аннотация. В статье рассматривается апробация разработанного авторами метода фазового укрупнения полумарковских систем с общим фазовым пространством, позволяющего значительно упростить данный процесс решения полумарковских задач. Разрабатывается имитационная модель на языке общего пользования GPSS и приводится листинг программы для двух последовательно соединенных производственных элементов. В статье приводятся результаты моделирования системы, состоящей из двух последовательно соединенных производственных элементов.

Ключевые слова. Имитационная модель, верификация, последовательное соединение, производственный элемент, GPSS.

При моделировании полумарковских систем с общим фазовым пространством состояний используются два основных подхода: имитационный [1] и вероятностно-аналитический [2]. Преимущество имитационного подхода заключается в широкой универсальности. Кроме того, он позволяет определять моментальные характеристики системы. Но при моделировании сложных систем используется иерархический принцип построения моделей, где стыковка уровней моделирования и элементов внутри уровней требует знаний функций распределения (ФР), что обеспечивается вторым подходом.

В настоящее время для определения ФР используется приближенный метод решения системы интегральных уравнений Марковского восстановления. В [3–5] предложен численный метод фазового укрупнения полумарковских систем, не требующий определения стационарного распределения вложенной цепи Маркова. В данной статье проводится верификация предложенного метода на основе сравнения с имитационной моделью исследуемой системы.

Цель статьи. Подтверждение правильности численного метода фазового укрупнения полумарковских систем с общим фазовым пространством состояний, на основе сравнения с имитационной моделью функционирования системы, состоящей из двух последовательно соединенных производственных элементов.

Рассматриваемая система содержит два последовательно соединенных производственных элемента (ПЭ), граф состояний представлен на **Рис.1**.

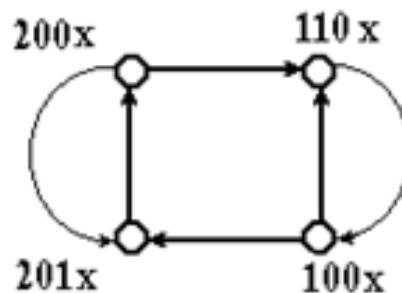


Рис.1 – Граф состояний функционирования двухфазной системы

Функции распределения времен наработки на отказ $F_1(t)$, $F_2(t)$ и времен восстановления $G_1(t)$, $G_2(t)$ первого и второго ПЭ:

$$F_1(t) = P\{\alpha_1 < t\}, \quad G_1(t) = P\{\beta_1 < t\}, \quad \bar{F}_1(t) = 1 - F_1(t), \quad \bar{G}_1(t) = 1 - G_1(t),$$

$$F_2(t) = P\{\alpha_2 < t\}, \quad G_2(t) = P\{\beta_2 < t\}, \quad \bar{F}_2(t) = 1 - F_2(t), \quad \bar{G}_2(t) = 1 - G_2(t).$$

При отказе первого ПЭ второй прекращает работу и наоборот, т.е. система функционирует только при исправности обоих ПЭ. Отсюда физические состояния системы:

- 1 — оба ПЭ исправны;
- 2 — отказал ПЭ элемент;
- 3 — отказал ПЭ элемент.

Полумарковские состояния:

100x — ПЭ 1 и 2 исправны, система находится в работоспособном состоянии, последнее изменение состояния произошло в ПЭ₁, который перешел из неисправного состояния в исправное, до окончания работы ПЭ₂ осталось время x;

200x — ПЭ 1 и 2 исправны, система находится в работоспособном состоянии, последнее изменение состояния произошло в ПЭ₂, который перешел из неисправного состояния в исправное, до окончания работы ПЭ₁ осталось время x;

110x — ПЭ₁ отказал, система находится в отказовом состоянии, до окончания работы ПЭ₂ осталось время x (в этом состоянии ПЭ₂ отказать не может - в нем изменений не происходит);

201x — ПЭ₂ отказал, система находится в отказовом состоянии, до окончания работы первого элемента осталось время x (в этом состоянии ПЭ₁ отказать не может — в нем изменений не происходит).

В работе [6] была построена модель двухфазной системы при использовании численного метода фазового укрупнения.

Запишем окончательные выражения функций распределения времени наработки на отказ и восстановления всей системы, а также коэффициент готовности системы.

$$F_p(t) = \hat{F}_{100}(t) \frac{\hat{\rho}_{100}}{\hat{\rho}_{100} + \hat{\rho}_{200}} + \hat{F}_{200}(t) \frac{\hat{\rho}_{200}}{\hat{\rho}_{100} + \hat{\rho}_{200}};$$

$$F_m(t) = \hat{F}_{110}(t) \frac{\hat{\rho}_{110}}{\hat{\rho}_{110} + \hat{\rho}_{201}} + \hat{F}_{201}(t) \frac{\hat{\rho}_{201}}{\hat{\rho}_{110} + \hat{\rho}_{201}}.$$

$$K_c = \frac{mF_p(t)}{mF_p(t) + mF_m(t)}.$$

На Рис.2 представлен листинг программы на языке GPSS.

```

sch equ 1
generate ,,,1
split 1,met1
split 1,met2
met0      seize dev
          advance 1
          release dev
          transfer ,met0
met1      seize otk1
          advance (Exponential(sch,0,19.5))
          advance (Exponential(sch,0,1))
          release otk1
          funavail dev
          funavail otk2
          seize vost1
          advance (Exponential(sch,0,5.05))
          advance (Exponential(sch,0,1))
          release vost1
          favail dev
          favail otk2
          transfer ,met1
met2      seize otk2
          advance (Exponential(sch,0,9.05))
          advance (Exponential(sch,0,1))
          release otk2
          funavail dev
          funavail otk1
          seize vost2
          advance (Exponential(sch,0,2.5))
          advance (Exponential(sch,0,1))
          release vost2
          favail dev
          favail otk1
          transfer ,met2
generate 100000
terminate 1
start 1
    
```

Рис.2 – Листинг программы на языке GPSS

Результаты имитационного моделирования сведены в таблицу 1.

Полученные результаты подтверждают правильность построенной аналитической модели, описывающей функционирование системы, состоящей из двух последовательно соединенных ПЭ. Погрешность моделирования составила 1.15%.

Таблица 1 – Результаты имитационного моделирования

Коэффициент готовности (имитационный)	Математическое ожидание коэффициента готовности (имитационное)	Коэффициент готовности (аналитический)	Погрешность
0.604	0.607	0.6	1.15%
0.606			
0.610			
0.609			
0.610			
0.612			
0.609			
0.606			
0.607			
0.604			
0.611			
0.608			
0.608			
0.601			
0.610			
0.609			
0.606			
0.605			
0.609			
0.609			
0.606			
0.608			
0.609			
0.602			
0.607			
0.608			
0.606			
0.612			
0.610			
0.611			

В дальнейших исследованиях планируется верификация других моделей, построенных с помощью численного метода фазового укрупнения полумарковских моделей.

Библиографический список

1. Рыжков, Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжков – С: Изд-во СПбГУ, 2004. – 529 с.
2. Корольук, В.С. Стохастические модели систем / В.С. Корольук – Киев: Наук Думка, 1989 – 208 с.
3. Kopp, V.Ja The numerical nethod of the phase integration of non-regenerating semi-Markov systems / V.Ja. Kopp, M.V. Zamoryonov, N.I. Chalenkov // Transaction of Azerbaijan National Academy of Science, Series of Physical-Technical and mathematical Science: Informatics and Control Problems, Vol.

- 38, №6, 2018. – pp. 3–15.
4. Копп, В.Я. Фазовое укрупнение полумарковской систем, состоящей из двух последовательно соединенных технологических ячеек / В.Я. Копп, М.В. Заморёнов, Н.И. Чаленков // Автоматизация и измерения в машиноприборостроении, Т.4, 2018. – С. 56-66.
 5. Копп, В.Я. Разновидность фазового укрупнения полумарковских систем на примере моделирования синхронной автоматизированной линии / В.Я. Копп, М.В. Заморёнов, Н.И. Чаленков // Интеллектуальные системы в производстве, Т.16, №3, 2018. – С. 97-102.
 6. Kopp, V.Ya. Phase enlargement of semi-markov systems without determining stationary distribution of embedded markov chain / V.Ya. Kopp, M.V. Zamorenov, N.I. Chalenkov, I.A. Skatkov // SPIIRAS Proceedings, no. 3, vol. 19, 2020. – pp. 539–563.

Bibliograficheskiy spisok

1. Ryzhkov, YU.I. Imitacionnoe modelirovanie. Teoriya i tekhnologii / YU.I. Ryzhkov – S: Izd-vo SPbGu, 2004. – 529 s.
2. Korolyuk, V.S. Stohasticheskie modeli sistem / V.S. Korolyuk – Kiev: Nauk Dumka, 1989 – 208 s.
3. Kopp, V.Ja The numerical nethod of the phase integration of non-regenerating semi-Markov systems / V.Ja. Kopp, M.V. Zamoryonov, N.I. Chalenkov // Transaction of Azerbaijan National Academy of Science, Series of Physical-Technical and mathematical Science: Informatics and Control Problems, Vol. 38, №6, 2018. – pp. 3–15.
4. Kopp, V.YA. Fazovoe ukрупnenie polumarkovskoj sistem, sostoyashchej iz dvuh posledovatel'no soedinennyh tekhnologicheskikh yacheek / V.YA. Kopp, M.V. Zamoryonov, N.I. CHalenkov // Avtomatizaciya i izmereniya v mashino-priborostroenii, T.4, 2018. – S. 56-66.
5. Kopp, V.YA. Raznovidnost'fazovogo ukрупneniya polumarkovskih sistem na primere modelirovaniya sinhronnoj avtomatizirovannoj linii / V.YA. Kopp, M.V. Zamoryonov, N.I. CHalenkov // Intellektual'nye sistemy v proizvodstve, T.16, №3, 2018. – S. 97-102.
6. Kopp, V.Ya. Phase enlargement of semi-markov systems without determining stationary distribution of embedded markov chain / V.Ya. Kopp, M.V. Zamorenov, N.I. Chalenkov, I.A. Skatkov // SPIIRAS Proceedings, no. 3, vol. 19, 2020. – pp. 539–563.

¹*Прейс Владимир Викторович, д.т.н., профессор, работа-
preys@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет*

²Заморёнов Михаил Вадимович, к.т.н., доцент,
Zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский
государственный университет

³Чаленков Никита Игоревич, аспирант, chalenkov-nikita@yandex.ru,
Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

SIMULATION OF THE PROCESS OF FUNCTIONING OF TWO CONNECTED PRODUCTION ELEMENTS

V.V. Preys, M.V. Zamoryonov, N.I. Chalenkov

The article discusses the approbation of the method of phase enlargement of semi-Markov systems with a common phase space, developed by the authors, which makes it possible to significantly simplify this process of solving semi-Markov problems. A simulation model is developed in the general use language GPSS and a program listing is provided for two serially connected production elements. The article presents the results of modeling a system consisting of two serially connected production elements.

Key words: simulation model, verification, serial connection, production item, GPSS. *Key words: service robot, video signal, network system, WebRTC technology.*

Preys Vladimir Vladimirovich, doctor of technical science, professor, preys@yandex.ru, Russia, Tula, Tula state University

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

Chalenkov Nikita Igorevich, postgraduate, chalenkov-nikita@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

КОМПЛЕКС МЕТОДИК ДЕКОМПОЗИЦИИ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Моисеев Д.В.¹, Поляков А.А.²

Аннотация. Рассматривается комплекс методик полной и неполной декомпозиции топологии структурно-сложных систем различного назначения для автоматизированного вычисления показателей: надежности изолированных систем; живучести открытых систем; степени (показателя) реализации решения организационных и планирующих процессов.

Ключевые слова. Теория вероятностей, общий логико-вероятностный метод, теория автоматизированного структурно-логического моделирования, теория графов, алгебра логики, теория надежности, автоматизация поддержки принятия решения.

В современном мире, когда потоки информации измеряются не килобайтами и не мегабайтами, а гигабайтами и терабайтами, выработать и принять руководителю (начальнику) обоснованное и грамотное решение становится всё трудней. В кратчайшие сроки поступающую информацию необходимо обобщить, скомпоновать, отделить достоверную информацию от ложной, проанализировать полезные данные, выработать различные варианты реагирования на сложившуюся обстановку, провести вычисления по каждому из них. Всё это неизбежно приводит к необходимости разработки, внедрения и поиска новых путей, а также совершенствование технологий, направленных на оптимизацию, автоматизацию, автоматизирование систем, средств программного обеспечения поддержки принятия решения [1].

Говоря о технических, организационных, организационно-технических системах различных видов, классов и назначений, необходимо отметить, что их надежность и живучесть является важной составляющей качества и необходимым условием обеспечения эффективности решения поставленных задач в современных условиях. Отметим, что главной конечной целью анализа их надежности является своевременное получение достоверной информации о безотказности, ремонтпригодности и долговечности. Данная информация необходима для выработки и обоснования управленческих решений в области обеспечения высокой устойчивости и эффективности систем различных видов, классов и назначений [9].

Современная практика проектирования структурно-сложных систем различного назначения предлагает структуры, содержащие многие десятки и даже сотни тысяч элементов, связанных и взаимодействующих между собой сложным образом. Примером могут служить информационные сети связи, сети ЭВМ, большие системы энергетики [8].

На данный момент в системах поддержки принятия решений существуют различные методы и методики, основанные на различных вычислительных принципах и временных режимах работы. В статье поднимается вопрос – применение методики полной и неполной декомпозиции топологии структурно-сложных систем различных видов, классов и назначений.

Проводя научные исследования в вопросах декомпозиционного аппарата, авторы столкнулись лишь с разрозненной информацией по декомпозиции топологии структурно-сложных систем. Квинтэссенцией настоящей работы является компиляция декомпозиционных методик в единый комплекс методик декомпозиции, позволяющий проводить полную и/или неполную декомпозицию структурно-сложных систем различного назначения для аналитического автоматизированного вычисления показателей их надежности, живучести и степени реализации решения организационных и планирующих задач.

Любая гипотеза или теория опираются на совокупность различных понятий, определений, терминов и показателей, которые должны быть строго регламентируемы в государственных стандартах или нормативных документах [2].

Термины и определения даются к систематизированным объектам целевого назначения применительно к техническим, организационным, организационно-техническим системам, рассматриваемым в периоды проектирования, планирования, производства, эксплуатации и применения.

Выделим некоторые термины и понятия, применяемые в заявленных методиках декомпозиции.

Под системой – будем понимать совокупность взаимосвязанных элементов некоторого системного объекта или организационного (планирующего) процесса, предназначенного для выполнения определенных функций или направленного для решения поставленных задач [8].

Отдельные части системы (конструктивно обособленные) называются элементами. Стоит обратить особое внимание, что одну и ту же систему в зависимости от той или иной задачи, которую решает исследователь, возможно, рассматривать как систему или как элемент некой более крупной системы. Отсюда следует, что к одной и той же рассматриваемой системе, возможно, применить несколько принципов декомпозиции ее структуры.

Следовательно, необходимо дать еще одно более полное определение элемента.

Элемент – это объект, представляющий собой простейшую часть системы, отдельные части которой не представляют самостоятельного интереса в рамках конкретного рассмотрения.

Наиболее известными способами графического моделирования структурно-сложных систем являются последовательно-параллельные схемы, блок-схемы, графы связности, деревья событий или деревья отказов, Марковские графы состояний и переходов, схемы функциональной целостности.

Прототипом вычисления показателя надежности и живучести декомпозиционных методик структур систем послужили:

- Общий логико-вероятностный метод, послужил прототипом построения логической функции работоспособности системы (далее ЛФРС) на основании логического критерия функционирования (далее ЛКФ).

Под ЛФРС будем понимать – точное и однозначное аналитическое представление состояний системы, в которых она реализует свое заданное функциональное назначение.

Настоящий стандарт, схемы функциональной целостности, деревья событий, деревья отказов подразумевают проводить декомпозицию рассматриваемой структуры системы на - функциональные элементы (где коммуникационные связи рассматриваются в составе функциональных элементов или как связующие их логические условия).

Рассмотрим предлагаемые авторами декомпозиционные методики.

Методики декомпозиции систем различных видов, классов и назначений включают в себя:

- методику полной декомпозиции структуры системы;
- методики неполной декомпозиции структуры системы.

Методика полной декомпозиции подразумевает разделение структуры рассматриваемой системы на отдельно представляемые:

- функциональные элементы, где каждый элемент имеет свой показатель надежности для изолированных технических систем, показатель живучести для открытых технических систем или показатель устойчивости для организационных систем;

Под устойчивостью будем понимать - способность структурного подразделения сохранить способность для гарантированного выполнения полученной задачи [1].

- коммуникационные связи, где каждая связь имеет свой показатель надежности, живучести и где состояния переходов коммуникационных связей представлены как полная группа несовместных событий.

Методики неполной декомпозиции подразумевают разделение структуры системы по трем принципам:

Первый принцип:

- функциональные элементы, где каждый элемент имеет свой показатель надежности для изолированных технических систем, показатель живучести для открытых технических систем или показатель устойчивости для организационных систем;

- коммуникационные связи, где состояния переходов связей, представлены как полная группа несовместных событий.

Второй принцип:

- коммуникационные связи, где каждая связь имеет свой показатель надежности, живучести и состояния переходов связей представлены как полная группа несовместных событий.

Третий принцип:

- коммуникационные связи, где состояния переходов связей представлены как полная группа несовместных событий.

В качестве объекта исследования рассматриваем структурно-сложную систему, представленную в форме графовой структуры – комбинации вершин (функциональных узлов) и ребер. Узлы графа описывают все возможные состояния компонентов системы и их соответствующие детерминированные характеристики, ребра – связи компонентов между собой, граф взвешенный ориентированный [5].

Рассмотрим методику полной декомпозиции топологии структурно-сложной системы.

Для вычисления показателя надежности, живучести структурно-сложных систем по формуле полной вероятности аналитическим способом на основе ориентированного взвешенного графа, существует и применяется только традиционные (неавтоматизированные, ручные) методики моделирования и вычисления.

С усложнением топологии ориентированного взвешенного графа в традиционной методике по вычислению аналитического показателя надежности, живучести структурно-сложных систем по формуле полной вероятности проявляются следующие недостатки: теряется наглядность и прозрачность вычисления; время на анализ структуры графа, анализ причинно-следственных связей, построение вероятностной функции увеличивается; уменьшается точность проведения аналитического вычисления; снижается эффективность проведения вычисления, при необходимости внести изменения в графическую модель; отсутствует вариативность в моделировании и при проведении вычисления; возникают сложности с проведением верификации.

Рассмотрим техническую систему (далее ТС), которая представляется в виде ориентированного взвешенного графа, веса на ребрах и количественные показатели узлов детерминированы, заданные вероятности являются ничем иным как, численными мерами степени объективной возможности данных частных показателей.

Функционированием элемента технической системы называется событие, которое в результате опыта должно произойти, с вероятностью согласно (1):

$$0 < P(A) \leq 1. \quad (1)$$

Таким образом, при рассмотрении функционирования единичного узла, коммуникационной связи не равной нулю, будем говорить, что данный элемент структуры системы, работоспособен с детерминированной или вычисленным показателем надежности для периода нормальной эксплуатации элементов, когда можно принять интенсивность отказов $\lambda(t) = \lambda = const$ по формуле (2):

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Невозможным называется событие V , которое в результате опыта не может произойти. Для системы, детерминированный показатель равный (3), означает, что данный элемент структуры неисправен и не функционирует.

$$P(V) = 0. \quad (3)$$

Критерии исходящих весов рёбер из узла образуют полную группу несовместных событий (4) и равны единице, таким образом, для промежуточного элемента ТС входящего в ЛФРС должна быть определена одна или несколько коммуникационных связей, что в результате опыта непременно должна произойти хотя бы одна из них:

$$P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_k) = 1. \quad (4)$$

Под сложным событием будем понимать – некое подмножество множества элементарных событий. Сложное событие в результате испытания наступает тогда и только тогда, когда произошло элементарное событие, принадлежащее сложному. Случай является благоприятным событием, если появление этого случая влечет за собой появление последующих событий [3].

Между случайными событиями и множествами существует связь, так совокупность элементарных событий возможно назвать множеством (пространством) элементарных исходов, и, соответственно, пространство элементарных исходов рассматривается как универсальное множество по отношению к случайным событиям. Любое случайное событие A состоит из одного и более элементарных исходов. Если элементарный исход

обозначить через ω , тогда случайное событие A можно рассматривать как подмножество пространства Ω (5):

$$A = \{\omega \in \Omega \mid \omega \subset A\}. \quad (5)$$

Вероятность произведения нескольких событий равна произведению вероятностей этих событий, причем вероятность каждого следующего по порядку события вычисляется при условии, что все предыдущие имели место (6):

$$P(A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_k) = P(A_1) \cdot P(A_2/A_1) \cdot P(A_3/A_1 A_2) \dots P(A_k/A_1 A_2 \dots A_{k-1}). \quad (6)$$

При последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы системы за время t при известных вероятностях безотказной работы определена:

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{k=1}^n P_k(t), \quad (7)$$

где $P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ – показатели вероятности безотказной работы 1, 2, 3, ..., n -го элементов системы за время t .

Событие A может наступить при условии одного из несовместных событий $H_1, H_2, \dots, H_n$, образующих полную группу событий, называемых гипотезами. Пусть известны вероятности гипотез: $P(H_1), P(H_2), \dots, P(H_n)$ и условные вероятности: $P(A/H_1), P(A/H_2), \dots, P(A/H_n)$. Вероятность события A , которое может наступить лишь при условии появления одного из несовместных событий $H_1, H_2, \dots, H_n$, образующих полную группу, равна сумме произведений вероятностей каждого из этих событий на соответствующую условную вероятность события A (8) [4].

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A \cdot H_i) = \sum_{i=1}^n P(H_i) P(A/H_i). \quad (8)$$

Проанализировав представленную методику, становится очевидным утверждение того, что оптимизация и автоматизация данного процесса повысит эффективность оценки показателя функционирования дискретной технической системы, путем декомпозиции её структуры.

Содержание оптимизации методики состоит в применении графоаналитической методики моделирования при представлении задачи в графическом виде на основе ориентированного взвешенного графа. В вычислительном процессе и выдачи обоснованных аналитических рекомендаций в принятии решений по выбору эффективной стратегии решений при проведении количественной оценки показателя надежности, живучести структурно-сложной системы.

Вывод:

Проблема моделирования систем различных видов, классов и назначений не решается одним только накопленным заранее

разработанным, готовым подходом декомпозиции топологии структурированных задач. Ежедневная практика и необходимость все время ставят такие задачи исследования, проектирования, эксплуатации и управления, для осуществления которых старые, трафаретные решения (модели) уже непригодны, и постоянно требуется создание и применение во многом совершенно новых, ранее не известных подходов и способов.

Одним из перспективных методов анализа безопасности и надежности, живучести систем является комплексный подход к декомпозиции структур сложных систем. Преимущество данного подхода заключается в том, что он позволяет исследователю:

- глубоко проанализировать количественные и качественные аспекты безопасности, надёжности, живучести;
- провести оценку опасности технологических процессов;
- выбрать правильные управленческие решения при оценке ситуаций;
- получить графический наглядный материал для практического принятия решения.

Библиографический список

1. Вентцель Е.С. Задачи и упражнения по теории вероятности / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров – М. «Академия» 2003. – 443 с.
2. ГОСТ Р 51901.14-2007 «Структурная схема надежности и булевы методы» М., «Стандартинформ», 2008 г.
3. Егорова Э. В. Математика и информатика / Э.В. Егорова – Тольятти ТГУ, 2008. – 95 с.
4. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей / А.Н. Колмогоров – М., 1974. – 120 с.
5. Лоптин К. К. Методология разработки специального математического программного обеспечения / К.К. Лоптин – СПб. ВМА 2001. – 244 с.
6. Можаяев А. С. Автоматизированное структурно - логическое моделирование систем / А.С. Можаяев – СПб.: ВМА им. Кузнецова Н.Г., 2006. – 572 с.
7. Патент RU 188 000 U1 Российская Федерация, МПК G06F 17/18 (2006.01) G06F 7/57 (2006.01). Вероятностное устройство нахождения аналитической вероятности для полной группы несовместных событий в неориентированном графе / Д.В. Моисеев, А.А. Поляков, А.А. Перепадин / ФГБВОУ ВО ЧВВМУ им. П.С. Нахимова МО РФ (RU).
8. Рябинин И. А. Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем / И.А. Рябинин – Москва: Радио и связь, 1981. – 265 с.

9. Стариков В.А. Оценка безопасности систем «человек-машина-среда» логико-вероятностным методом / В.А. Стариков – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – 89 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Ventcel' E.S. Zadachi i uprazhneniya po teorii veroyatnosti / E.S. Ventcel', L.A. Ovcharov – М. «Akademiya» 2003. – 443 с.
2. GOST P 51901.14-2007 «Strukturnaya skhema nadezhnosti i bulevy metody» М., «Standartinform», 2008 г.
3. Egorova E. V. Matematika i informatika / E.V. Egorova – Tol'yatti TGU, 2008. – 95 s.
4. Kolmogorov A. N. Osnovnye ponyatiya teorii veroyatnostej / A.N. Kolmogorov – М., 1974. – 120 с.
5. Loptin K. K. Metodologiya razrabotki special'nogo matematicheskogo programmnoho obespecheniya / K.K. Loptin – SPB. VMA 2001. – 244 s.
6. Mozhaev A. S. Avtomatizirovannoe strukturno - logicheskoe modelirovanie sistem / A.S. Mozhaev – SPb.: VMA im. Kuznecova N.G., 2006. – 572 s.
7. Patent RU 188 000 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK G06F 17/18 (2006.01) G06F 7/57 (2006.01). Veroyatnostnoye ustrojstvo nahozhdeniya analiticheskoy veroyatnosti dlya polnoj gruppy nesovmestnyh sobytij v neorientirovannom grafe / D.V. Moiseev, A.A. Polyakov, A.A. Perepadin / FGBVOU VO CHVVMU im. P.S. Nahimova MO RF (RU).
8. Ryabinin I. A. Logiko-veroyatnostnye metody issledovaniya nadyozhnosti strukturno-slozhnyh sistem / I.A. Ryabinin – Moskva: Radio i svyaz', 1981. – 265 s.
9. Starikov V.A. Ocenka bezopasnosti sistem «chelovek-mashina-sreda» logiko-veroyatnostnym metodom / V.A. Starikov – Tyumen': TyumGNGU, 2014. – 89 s.

¹Моисеев Дмитрий Владимирович, д.т.н., профессор, dvmoiseev@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

²Поляков Александр Александрович, к.т.н., sansanich27@yandex.ru, Россия, Севастополь, Черноморское высшее военно-морское ордена красной звезды училище имени П.С. Нахимова

COMPLEX METHODS OF DECOMPOSITION OF STRUCTURALLY COMPLEX SYSTEMS FOR VARIOUS PURPOSES

D.V. Moiseev, A.A. Polyakov

The paper considers a set of methods for complete and incomplete decomposition of the topology of structurally complex systems for various purposes for automated calculation of indicators: the reliability of isolated systems; the survivability of open systems; the degree (indicator) of the implementation of the solution of organizational and planning processes.

Key words: probability theory, general logic-probabilistic method, theory of automated structural-logical modeling, graph theory, logic algebra, reliability theory, decision support automation.

Moiseev Dmitry Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, dvmoiseev@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Polyakov Alexander Alexandrovich, Candidate of Technical Sciences, sansanich27@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Black Sea Higher Naval School of the Order of the Red Star named after P. S. Nakhimov

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПОСАДКАМ С НАТЯГОМ

Филипович О.В.¹, Невар Г.В.²

Аннотация. Рассматриваются применение резьбовых соединений с натягом по среднему диаметру и параметры их качества. Построена имитационная модель процесса однопараметрической селективной сборки двух резьбовых деталей, учитывающая влияние погрешностей измерения на сортировку по селективным группам при одновариантном комплектовании. Приведены результаты моделирования, определены выходные показатели сборочного процесса.

Ключевые слова. Имитационная модель, резьбовое соединение, натяг, погрешность измерения.

Резьбу с натягом по среднему диаметру широко применяют для получения неподвижных резьбовых соединений типа шпилька–корпус (Рис.1). Такие соединения широко используются, например, для крепления головки блока цилиндров к блоку цилиндров двигателей внутреннего сгорания, крышки к корпусу редукторов, коробок скоростей и т.д.

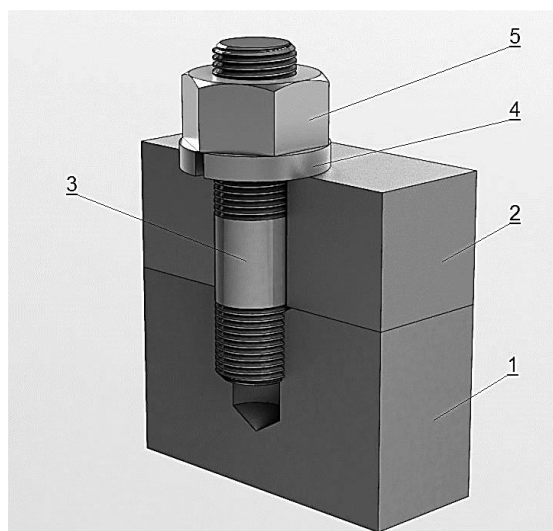


Рис.1 – Шпильчное соединение:

1 – деталь с глухой резьбой (гнездо); 2 – деталь со сквозным отверстием; 3 – шпилька; 4 – шайба; 5 – гайка

Посадки с гарантированным натягом требуют установления весьма малых величин допусков по среднему диаметру. При больших допусках и

натяге, близким к наименьшему предельному, не гарантируется отсутствие проворачивания шпилек в гнезде. При возможном наибольшем предельном натяге может произойти разрушение шпильки или срезание резьбы гнезд. В этой связи на средний диаметр резьбы установлены высокие степени точности. Для обеспечения однородного натяга, лежащего в заданных пределах, обычно используется селективное комплектование и сборка, при этом резьбовые детали сортируются на группы (две или три), а соединения собираются из одноименных групп (что соответствует алгоритму одновариантного комплектования).

Предположим, что сопрягаемые параметры x_i являются независимыми случайными величинами, имеющими плотности распределения $f_i(x)$, конечные математические ожидания и дисперсии, а также известны величины расширенных допусков Tx_i на изготовление партий деталей равных объемов $Q_1 = Q_2 = Q$, количество групп сортировки L_i .

Основными параметрами качества резьбовых соединений с натягом являются их прочность и надежность. На качество таких соединений, от которого зависят функциональные характеристики узлов, при использовании селективной сборки оказывают влияние следующие основные факторы [1,2]:

- конструктивные (обоснованный выбор номинальных значений диаметра, шага резьбы, длины свинчивания и др.);
- технология изготовления, определяющая точность основных параметров геометрии резьбовых деталей (средний диаметр резьбы, шаг и угол профиля, отклонение формы, шероховатость поверхности и др.);
- качество измерения среднего диаметра при сортировке – совокупность свойств измерений, обуславливающих соответствие средств, метода, методики, условий измерений и состояния единства измерений требованиям измерительной задачи;
- качество сборки.

Остановимся более подробно на метрологическом факторе. Средства измерения используются в процессе селективного комплектования и сборки для сортировки деталей на размерные группы. Указанная операция, проводимая со 100% объема деталей, осуществляется путем измерения одного параметра (среднего диаметра) и определения принадлежности каждой из деталей типа к определенной селективной группе по результатам измерения. При известных истинных значениях параметров было бы возможно безошибочно распределить детали по селективным группам. Однако, на практике это производится по действительным значениям, полученным по результатам измерений с допустимой погрешностью.

Погрешности измерений нарушают правильность сортировки деталей по селективным группам и снижают собираемость и качество сборочных комплектов. В результате может возникнуть ошибочная разбраковка: попадание детали в одну из соседних селективных групп вместо требуемой группы, куда бы она попала при проведении сортировки по истинным значениям при отсутствии погрешности измерения (**Рис.2**) [3].

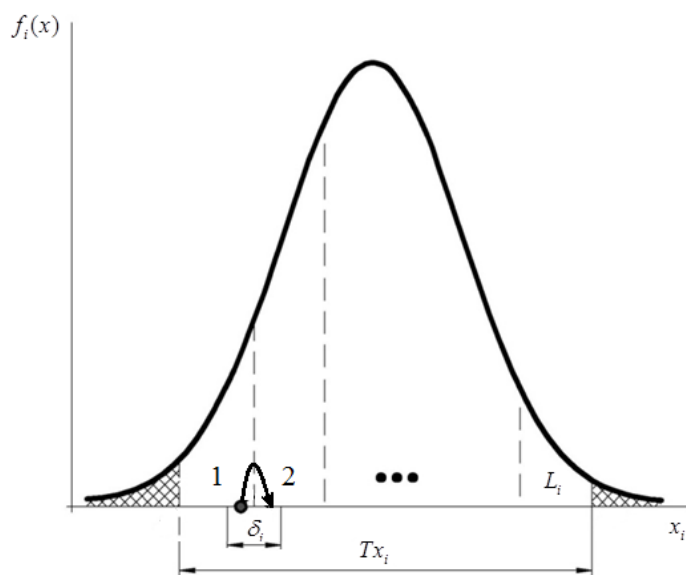


Рис.2 – Иллюстрация процесса ошибочной сортировки

В свою очередь, ошибки сортировки будут сказываться на качестве изделий: при использовании одновариантного алгоритма комплектования, изделия, полученные из таких деталей, будут заведомо бракованными по выходному параметру (натягу), точность которого пытаются достичь методом групповой взаимозаменяемости.

Целью работы является построение имитационной модели процесса селективного комплектования и сборки резьбовых элементов по посадкам с натягом, учитывающих влияние погрешностей измерения на выходные показатели процесса. Под последними здесь понимается вероятность получения годных собранных комплектов, вероятность образования элементов, составляющих незавершенное производство и предварительный брак [4].

Имитационные модели широко используют для анализа поведения сложных реальных систем, состоящих из большого количества взаимодействующих элементов и процессов, которые, в большинстве случаев, являются случайными. Основные принципы построения базовой модели процесса однопараметрической селективной сборки приведены в [5]. Модель построена в среде GPSS World – современной версии системы компьютерного моделирования общего назначения GPSS [6-8] и состоит из

нескольких основных сегментов [3,5]:

- 1) задания исходных данных;
- 2) имитации процесса измерения и сортировки;
- 3) имитации процесса сборки.

После прогона модели в отчете представлены следующие данные, необходимые для дальнейшего анализа:

- 1) информация о статистических плотностях распределения, средних значениях и стандартных отклонениях размеров деталей в партии (истинных и действительных), выходном параметре изделия, погрешностях измерения, собранная при помощи статистических таблиц;
- 2) количество транзактов, оставшихся в пользовательских списках, составляющих незавершенное производство и предварительный брак;
- 3) общее количество собранных комплектов и годных собранных комплектов.

Особенности учета в модели погрешностей измерения на показатели сборочного процесса подробно описаны в [3]. Приведем пример моделирования процесса селективного комплектования и сборки по построенной имитационной модели. Пусть изготавливаются партии деталей одинаковых объемов $Q=1000$ шт. Предположим, что распределения размеров деталей в соответствующих партиях – нормальные, имеющие плотности

$$f_i(x) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_i)^2}{2\sigma_i^2}}, \quad i = \overline{1,2}, \quad (1)$$

где m_i и σ_i – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайной величины x_i . Для рассматриваемого примера в качестве исходных данных примем следующее.

1. Величины расширенных допусков для деталей обоих типов, номинальные размеры сопрягаемых поверхностей, границы селективных групп определены посадкой с натягом $M12 - \frac{2H4D(3)}{3n(3)}$ (Рис.3).

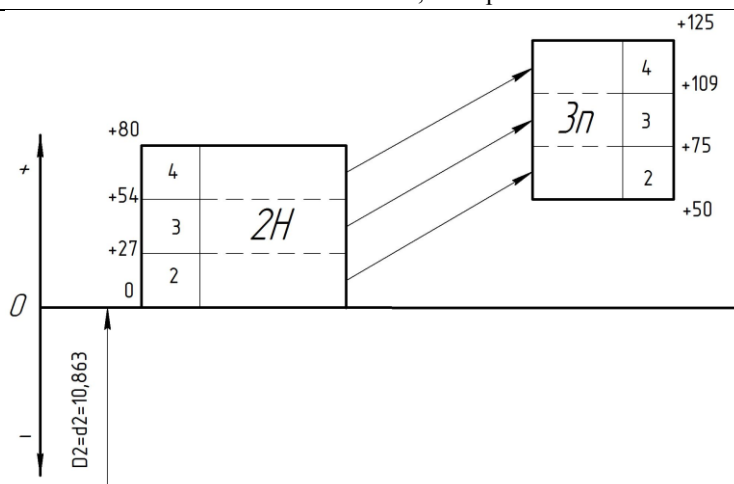


Рис.3 – Схема расположения полей допусков резьбовых деталей по среднему диаметру при указанной посадке

Количество селективных групп годных деталей фиксировано, $L_1 = L_2 = 3$. Математические ожидания $m_1 = 10,950$ мм; $m_2 = 10,904$ мм; среднеквадратические отклонения $\sigma_1 = 0,0139$ мм; $\sigma_2 = 0,0138$ мм.

2. При условии отсутствия или компенсации систематических погрешностей, примем, что закон распределения случайной составляющей погрешности измерения – нормальный, определяемый выражением (1). Предположим, что указанные случайные величины имеют нулевые математические ожидания, а их среднеквадратические отклонения равны

$$\sigma_{\delta_i} = \frac{\Delta_i}{2}, \quad i = \overline{1, 2},$$

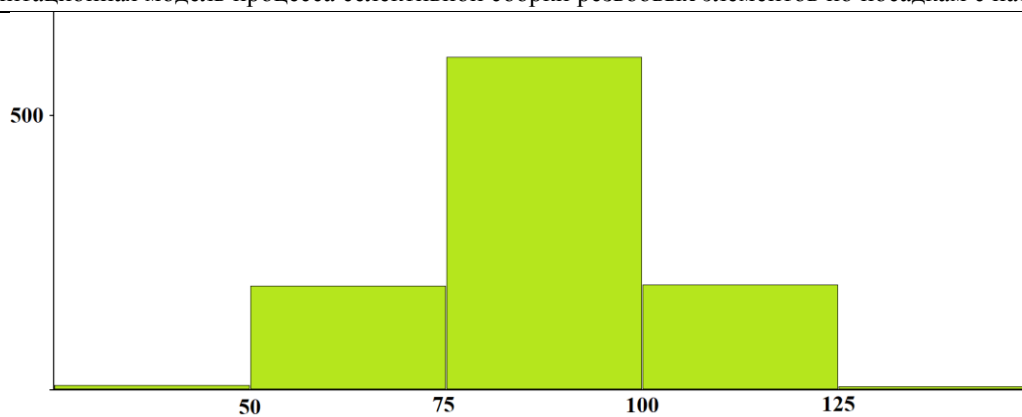
где Δ_i – погрешности измерений. При моделировании примем $\Delta_1 = 7$ мкм, $\Delta_2 = 8$ мкм.

3. Для комплектования примем следующее правило: размеры деталей, подобранные определенным образом из соответствующих групп при сборке должны обеспечивать натяг N , лежащий в пределах

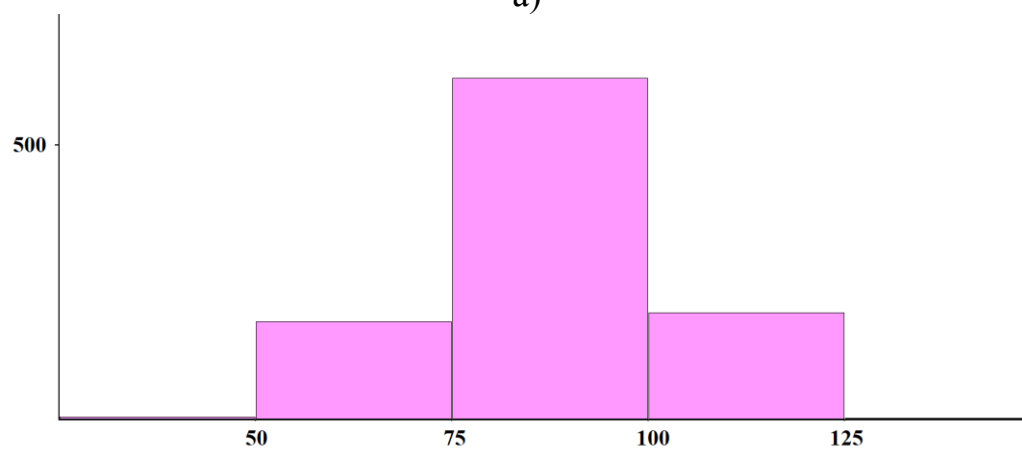
$$N_{\min} \leq N \leq N_{\max},$$

при этом детали из этих групп должны быть полностью взаимозаменяемыми.

После прогона модели с использованием одного генератора случайных чисел по накопленным данным возможно получить статистическое распределение значений действительных и истинных размеров болта (шпильки) и гайки (отверстие) (**Рис.4,5**), а также гистограммы, показывающие статистическое распределение значений натягов N (**Рис.6**).

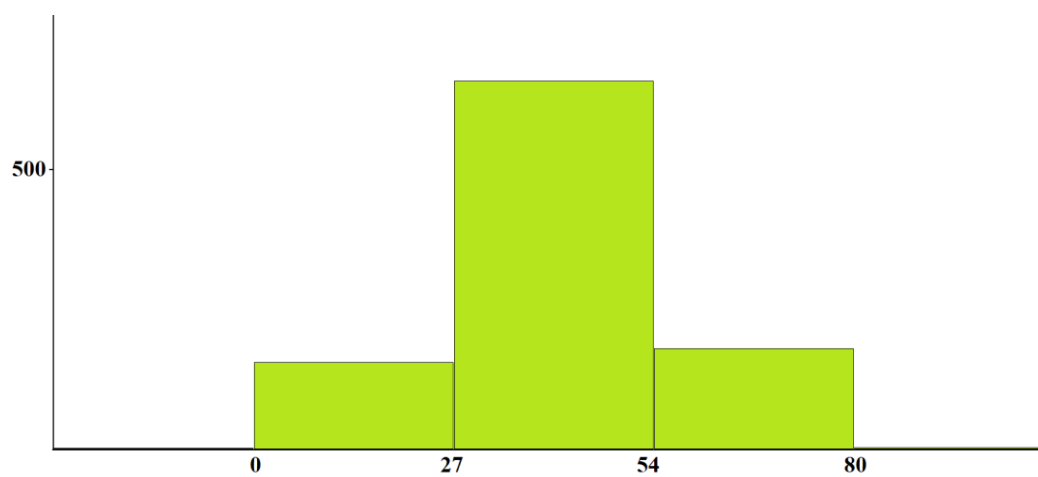


а)



б)

Рис.4 – Статистическое распределение значений действительных (а) и истинных (б) размеров болта (шпильки), мкм



а)



Рис.5 – Статистическое распределение значений действительных (а) и истинных (б) размеров гайки (отверстия), мкм

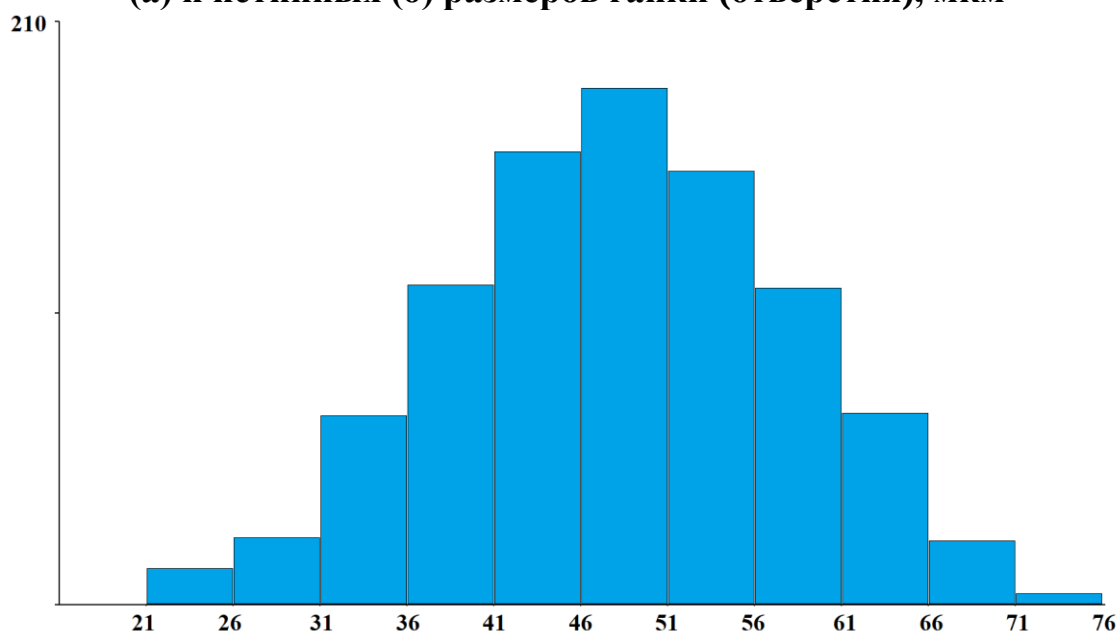


Рис.6 – Статистическое распределение значений натяга в соединении, мкм

Проведенный эксперимент позволил определить следующие показатели селективной сборки:

- количество годных собранных комплектов – 935;
- общее количество собранных комплектов – 942;
- вероятность получения бракованного комплекта вследствие ошибочной разбраковки – 0,74%;
- среднее значение натяга в соединении – 48,3 мкм;
- количество деталей, составляющих незавершенное производство и предварительный брак – 58.

Таким образом, построенная модель позволяет производить анализ показателей сборочного процесса с учетом погрешностей измерения

параметров, приводящих к появлению бракованных изделий.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-08-00825 А.

Библиографический список

1. Якушев А.И. Повышение прочности и надежности резьбовых соединений /А.И. Якушев, Р.Х. Мустаев, Р.Р. Мавлютов. – М.: Машиностроение, 1979. – 214 с.
2. Якушев А.И. Влияние технологии изготовления и основных параметров резьбы на прочность резьбовых соединений /А.И. Якушев. – М. : Оборонгиз, 1956. – 191с.
3. Филипович О.В. Оценка влияния погрешности измерения на показатели селективной сборки с помощью имитационного моделирования /О.В. Филипович, Г.В. Невар // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2017. – № 9-1. – Тула: Изд-во ТулГУ. – С. 428-437.
4. Филипович О.В. Управление параметрами селективной сборки двух деталей /О.В. Филипович, Г.В. Невар, М.И. Гарматюк, Д.В. Заморенова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2015. – №10. – Тула: Изд-во ТулГУ. – С. 144-150.
5. Филипович О.В. Имитационная модель процесса однопараметрической селективной сборки /О.В. Филипович, В.Я. Копп, М.И. Гарматюк //Сборка в машиностроении и приборостроении. – М.: Изд-во «Машиностроение», 2012. – №5. – С.81-90.
6. Боев В.Д. Моделирование систем, инструментальные средства GPSS World /В.Д. Боев. – Санкт-Петербург: Изд-во «БХВ-Петербург», 2004. – 454 с.
7. Бражник А.Н. Имитационное моделирование: возможности GPSS World /А.Н. Бражник. – Санкт-Петербург: Реноме, 2006. – 439 с.
8. Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем /Е.М. Кудрявцев. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Yakushev A.I. Povyshenie prochnosti i nadezhnosti rez'bovyh soedinenij /A.I. Yakushev, R.H. Mustaev, R.R. Mavlyutov. – M.: Mashinostroenie, 1979. – 214 с.
2. Yakushev A.I. Vliyanie tekhnologii izgotovleniya i osnovnyh parametrov rez'by na prochnost' rez'bovyh soedinenij /A.I. Yakushev. – M.: Oborongiz, 1956. – 191s.
3. Filipovich O.V. Ocenka vliyaniya pogreshnosti izmereniya na pokazateli selektivnoj sborki s pomoshch'yu imitacionnogo modelirovaniya /O.V.

- Filipovich, G.V. Nevar // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2017. – № 9-1. – Tula: Izd-vo TulGU. – S. 428-437.
4. Filipovich O.V. Upravlenie parametrami selektivnoj sborki dvuh detalej /O.V. Filipovich, G.V. Nevar, M.I. Garmatyuk, D.V. Zamorenova // *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2015. – №10. – Tula: Izd-vo TulGU. – S. 144-150.
5. Filipovich O.V. Imitacionnaya model' processa odnoparametricheskoj selektivnoj sborki /O.V. Filipovich, V.YA. Kopp, M.I. Garmatyuk // *Sborka v mashinostroenii i priborostroenii*. – M.: Izd-vo «Mashinostroenie», 2012. – №5. – S.81-90.
6. Boev V.D. Modelirovanie sistem, instrumental'nye sredstva GPSS World /V.D. Boev. – Sankt-Peterburg: Izd-vo «BHV-Peterburg», 2004. – 454 s.
7. Brazhnik A.N. Imitacionnoe modelirovanie: vozmozhnosti GPSS World /A.N. Brazhnik. – Sankt-Peterburg: Renome, 2006. – 439 s.
8. Kudryavcev E.M. GPSS World. Osnovy imitacionnogo modelirovaniya razlichnyh sistem /E.M. Kudryavcev. – M.: DMK Press, 2004. – 320 s.

¹*Филипович Олег Викторович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой, ophis1@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

²*Невар Галина Валерьевна, аспирант, GalinaNevar@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет.*

SIMULATION MODEL OF THE SELECTIVE ASSEMBLY OF THREADED ELEMENTS BY FITTING WITH INTERFERENCE

O.V. Filipovich, G.N. Nevar

The use of threaded connections with an interference fit along the average diameter and their quality parameters are considered. A simulation model of the process of one-parameter selective assembly of two threaded parts has been built, taking into account the influence of measurement errors on sorting by selective groups with one-variant set-making. The results of modeling are given, the output indicators of the assembly process are determined.

Keywords: simulation model, threaded connection, interference, measurement error

Filipovich Oleg Viktorovich, candidate of technical sciences, associate professor, Head of department, ophisl@yandex.ru, Russian Federation, Sevastopol, Sevastopol State University

Nevar Galina, graduate student, GalinaNevar@yandex.ru, Russian Federation, Sevastopol, Sevastopol State University

УДК 615.47

ПОРТАТИВНЫЙ ПЕРЕНОСНОЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ РЕАНИМАТОР ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Пашков Е.В.

Аннотация. Приведены результаты анализа конструкций и функциональных возможностей ряда автоматических устройств известных производителей медицинского оборудования, используемых для сердечно-легочной реанимации. Приведена принципиальная схема, описание конструкции и принцип работы переносного портативного автоматического реаниматора для восстановления сердечно-легочной деятельности человека, размещаемого на переносной платформе с расположенными внутри устройствами с электроприводами для наружного массажа сердца с лентами грудных накладок бандажа и для вентиляции легких с дыхательной маской, снабженного запорным клапаном, датчиками давления воздуха и пульса. Внутри платформы также размещены устройство управления и автономный источник электроэнергии. Перед началом реанимации с помощью пульта управления устанавливаются параметры силового воздействия на грудную клетку, зависящие от ее размеров.

Ключевые слова. Сердечно-легочная реанимация, закрытый массаж сердца, ленточный грудной бандаж, вентиляция легких, дыхательная маска, регулируемый электропривод, датчики давления воздуха и пульса.

Введение.

Целью предлагаемой конструкции портативного переносного автоматического реаниматора (ППАР) для восстановления сердечно-легочной деятельности человека является упрощение конструкции, уменьшение габаритных размеров, массы и энергоемкости и, как следствие, повышение эксплуатационной надежности при осуществлении реанимации в стационарных больничных условиях, в подвижных транспортных средствах (реанимационные автомобили, поезда, самолеты и др.), а также в процессе эвакуации пострадавших на носилках из зон экологических катастроф и военных действий.

Основными функциональными элементами применяемых в стационарных условиях устройств для сердечно-легочной реанимации (СЛР) являются платформа для размещения и фиксации пациента, устройство для наружного (непрямого) массажа сердца (НМС), устройство для искусственной вентиляции легких (ИВЛ), автоматический узел управления с датчиками давления воздуха, усилия массажа и частоты пульса [1].

Задачей используемого в составе реаниматоров устройств для НМС является улучшение перфузионного кровотока в сердце и мозге пациентов с

остановкой сердца, предотвращение трансформации сердца и мозга в необратимое состояние смерти и постепенное восстановление их функционального назначения [2].

На практике используются три метода НМС: от руки (ручная), механизированная и автоматизированная. Кроме того, НМС может осуществляться в стационарных (больничных) условиях, в подвижных транспортных средствах (реанимационные автомобили, поезда, самолеты и др.), а также в процессе эвакуации пострадавших на носилках из зон экологических катастроф и военных действий.

Компрессия (сжатие) грудной клетки выполняется со скоростью не менее 100 нажатий в минуту, на глубину $\delta = 30 \dots 60$ мм в центре грудной впадины, и может быть осуществлена с использованием различных схем силового воздействия на клетку: точечной, с помощью сосредоточенных (единичных) сил; комбинированной, с помощью сосредоточенных сил и распределенной нагрузки по окружности грудной клетки.

Традиционный НМС от руки, реализуемый с помощью точечного (сосредоточенного) силового воздействия на центр грудной впадины, обеспечивает очень небольшой приток крови к сердцу (от 10% до 20% кровотока) при нормальных физиологических условиях, и к мозгу (от 20% до 30% кровотока) [3,4]. К его основным недостаткам следует отнести значительный процент смертности пациентов, большие мускульные затраты реаниматолога, невозможность обеспечения постоянства кровотока, отсутствие возможности осуществления в процессе эвакуации, т.е. при переносе пациента на носилках, отсутствие контроля величины прилагаемого реаниматологом усилия (от 20 до 50 кг), что может привести к повреждениям клетки.

Механизированный НМС, осуществляемый с помощью специальных устройств для точечной передачи усилий от рук реаниматолога грудной клетке пациента в зоне грудной впадины [5,6], позволяет обеспечить контроль величины прилагаемого усилия, однако не лишена других, свойственных ручному НМС, недостатков.

Автоматизированный НМС, осуществляемая с помощью автоматических устройств (стационарных и переносных) на базе автоматических силовых приводов (пневматических, электромеханических) с автономными или сетевыми источниками энергии, не только полностью освобождает реаниматолога от мускульных затрат, но и лишен недостатков, присущих ручному и механизированному НМС.

Так, например, устройство для сердечно-легочной реанимации LUCAS (Лукас) производства Michigan Instruments (США), предназначенное для проведения наружного массажа сердца [7], содержит платформу для размещения пациента, вертикальную стойку для закрепления пневматического механизма циклического силового точечного воздействия на центральную часть грудной

клетки (грудину) посредством толкателя с упругим элементом на конце, а также баллон со сжатым кислородом или воздухом.

Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации LUCAS-2 (Лукас-2) [8], предназначенное для проведения НМС, содержит размещаемую под спиной пациента платформу с шарнирно прикрепленными к ней одними концами дугообразными жесткими полуарками, соединенными другими концами с корпусом циклического механизма с электроприводом для силового точечного воздействия на центр грудной клетки (грудину) посредством толкателя с упругим элементом на конце в виде сильфона, а также автономный источник электроэнергии в виде аккумуляторных батарей.

Общим недостатком устройств LUCAS и LUCAS-2 является, во-первых, отсутствие возможности обеспечения равномерного сжатия всей грудной клетки, что снижает эффективность воздействия на легкие с целью их вентиляции; во-вторых, наличие вертикальной стойки или дугообразных полуарок существенно увеличивает габариты устройств по высоте, затрудняя тем самым эвакуацию пациентов из аварийных помещений и строений через узкие и невысокие проходы; в-третьих, высокое расположение по отношению к платформе центра тяжести механизма для создания усилия деформации грудной клетки затрудняет перемещение работающего устройства с пациентом по лестничным переходам, например, с верхнего этажа строения на нижний, из помещения в машину скорой помощи, а в процессе перевозки будут происходить угловые смещения устройства (наклоны стойки), негативно влияющие на параметры процесса НМС.

Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации ZOLL [9], реализующее схему распределенного силового воздействия при осуществлении НМС, содержит коробчатую платформу, располагаемую под спиной пациента, внутри которой размещен снабженный электроприводом механизм циклического действия для натяжения лент бандажа, охватывающих грудную клетку пациента, связанных с застегивающимся на груди грудными накладками.

К недостаткам, присущим данному устройству, следует отнести сложность и металлоемкость конструкции механизма циклического натяжения лент бандажа в составе которого используется электрический привод.

Использование в составе автоматических устройств для НМС ленточных бандажей позволяет реализовать любую из известных схем силового воздействия на грудную клетку путем изменения расположения лент относительно грудной клетки, а также формы и количества связанных с ними грудных накладок.

При использовании в составе реаниматоров в условиях выездной службы интенсивной терапии портативных электронных аппаратов типа А-ИВЛ/ВВЛ-«ТМТ», в дополнение к электрическому источнику энергии требуется второй автономный пневматический источник энергии в виде баллона с кислородно-

воздушной смесью, что усложняет конструкцию реаниматора, приводит к увеличению его весо-габаритных параметров, снижает надежность и долговечность работы.

Постановка задачи заключается в упрощении конструкции и снижении металлоемкости, уменьшении габаритных размеров и энергозатрат, и, как следствие, в повышении надежности и долговечности работы.

Результаты.

ППАР (**Рис.1а**) содержит переносную коробчатую платформу 10 прямоугольной формы, размещаемую под спиной пациента 11, ленточный бандаж, включающий жесткую грудную пластинчатую накладку 14 с пряжками-замками 12 для ленты 5 со свободными выступающими из пряжек концами 13 с мерными цифровыми метками на внешней стороне.

Платформа снабжена привязными ремнями для фиксации пациента в требуемом положении относительно бандажа и четырьмя ручками на боковых сторонах для ее переноса вместе с пациентом.

Через направляющие отверстия 4 в платформе лента бандажа соединяет его грудную накладку со шкивом 2, закрепленным на выходном валу электрического мотор-редуктора 1, например, типа АСМ602V36-01, редуктор 60PLF15K-14S, входящего в состав устройства для наружного массажа сердца, размещенного внутри платформы.

Со стороны внутренней торцевой поверхности шкив снабжен кольцевой ребордой 32 (**Рис.1б**), ограничивающей смещение ленты в осевом направлении, а на наружной торцевой поверхности имеет диаметральный паз 35 под ленту, открытый в сторону наружной цилиндрической образующей диаметром D , и центральное отверстие 33 под прикрепленную к ленте симметрично ее концов цилиндрическую шпонку 34, образованную двумя сегментами, скрепленными между собой заклепками.

Ось центрального отверстия шкива расположена в плоскости, проходящей через центры направляющих роликов 3 и 9, первый из которых закреплен непосредственно на платформе, а второй закреплен на ней посредством вращающегося рычага 7, находящегося в контакте с шарнирно установленным датчиком усилия массажа 8, например, тензометрическим, типа EMS50.

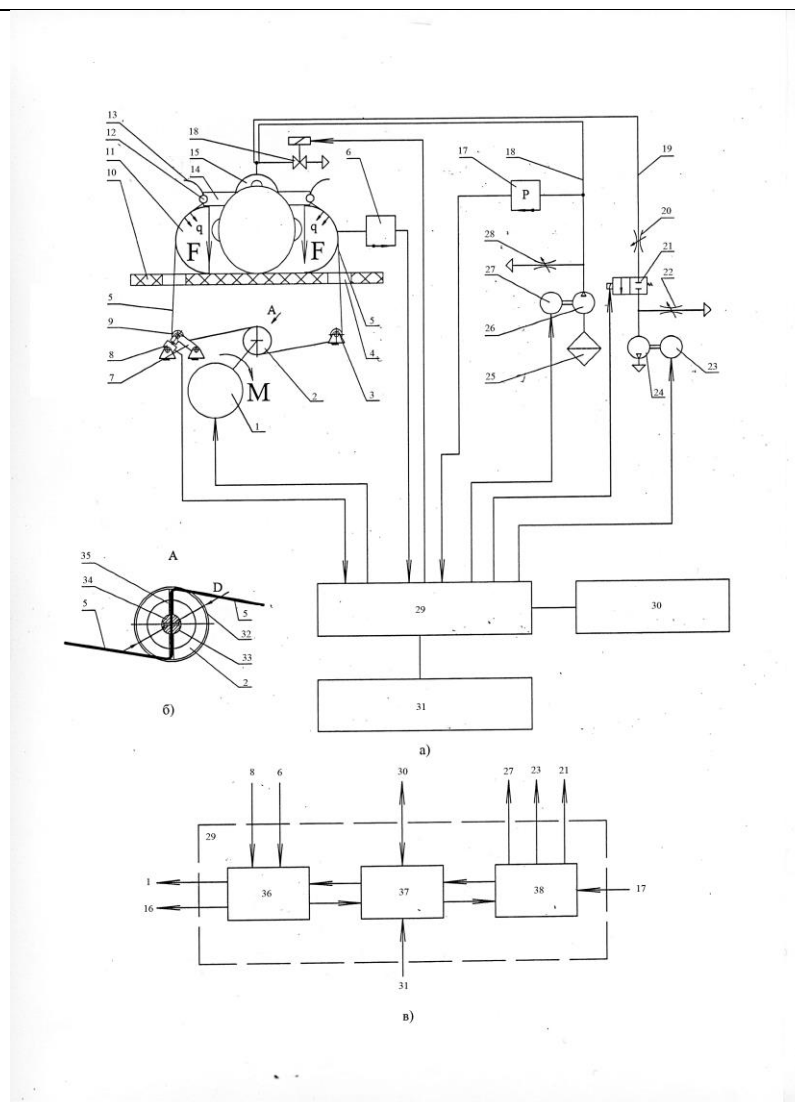


Рис.1 – Конструктивно-кинематическая схема ППАР

Установленное внутри платформы устройство вентиляции легких содержит нагнетающий пневматический насос 26 с приводным электродвигателем 27, например, типа 12V DC Diaphragm Vacuum Motor Pump Air, вход которого посредством воздушного фильтра 25 соединен с атмосферой, а выход посредством нагнетающего трубопровода 18 со встроенным в него датчиком давления 17 соединен с полостью дыхательной маски 15, которая соединена с атмосферой посредством встроенного в маску запорного клапана 16 с электромагнитным управлением и увеличенным размером условного прохода, например, тарельчатого, а также соединена откачивающим трубопроводом 19 с последовательно встроенными в него регулируемым дросселем 20 и 2/2-пневмораспределителем с электромагнитным управлением (отсечной клапан) 21 со входом откачивающего насоса 24 с приводным электродвигателем 23 того же типа, что и нагнетающий насос.

С помощью датчика давления устанавливается необходимое давление (0,25...0,3) 10^5 Па) в нагнетающем трубопроводе при настройке устройства для наружного массажа сердца, а в процессе работы устройства осуществляется контроль за изменением этого давления и его поддержание на установленном уровне путем регулирования электрического напряжения, подаваемого на приводной двигатель нагнетающего насоса, влияющего на частоту его вращения.

Участки нагнетающего и откачивающего трубопроводов соответственно между нагнетающим насосом и датчиком давления и между откачивающим насосом и пневмораспределителем, соединены с атмосферой с помощью регулируемых дросселей 28, который необходим для регулирования расхода, а следовательно и давления, подаваемого в легкие воздуха путем его сброса в атмосферу, и 22, который необходим для выведения откачивающего насоса в номинальный режим работы путем подсоса воздуха из атмосферы и создания в рабочих полостях насоса необходимого перепада давления.

Входящие в состав автоматического устройства управления 29 блоки управления 36 и 38 указанными выше устройствами (**Рис.1,в**) соединены между собой блоком сопряжения 37, соответствующие входы и выходы первого блока управления соединены с выходами датчика пульса 6, например, пульсоксиметр, типа MAX 30102 MAXIM INTEGRATED, датчика усилия массажа и входами мотор-редуктора и запорного клапана, а второго блока управления с выходом датчика давления, входами электродвигателей насосов и электромагнита пневмораспределителя.

Вынесенный за пределы платформы пульт управления 30 обеспечивает постоянный контроль за процессом реанимации при переносе и транспортировке пациента, находящегося на платформе. Электрическое питание осуществляется от автономного источника электрической энергии 31 в виде аккумулятора.

Подготовка реаниматора к работе и работа в режиме реанимации осуществляется поэтапно в следующей последовательности.

На первом этапе автоматическое устройство управления подключается к аккумулятору 31.

Пациент 11 (**Рис.1а**) размещается на платформе 10 таким образом, чтобы центр его грудной впадины (грудины) находился в плоскости, проходящей через направляющие отверстия 4 на одинаковом расстоянии от них, и фиксируется на ней привязными ремнями (на рис. не показаны). Накладка 14 размещается на груди пациента в зоне грудной впадины и соединяется посредством пряжек-замков 12 с концами ленты 5. Используя выступающие из пряжек свободные концы 13 ленты 5, производится симметричная ручная подтяжка ленты до полного контакта с телом пациента.

По длине вытянутых из пряжек-замков свободных концов ленты, с помощью цифровых меток на ней, определяется длина окружности груди и полученное значение вводится с помощью пульта 30 в память контроллера

устройства управления 29, в котором хранится управляющая программа, с помощью которой автоматически определяется величина перемещения концов ленты и рекомендуемая величина прогиба грудины без повреждения ребер.

Затем, на лице (голове) пациента с помощью упругих охватывающих голову ремешков (на рис. не показаны), устанавливается дыхательная маска 15, а на грудной клетке или пальце руки закрепляется датчик пульса 6.

На втором этапе реализуется автоматический режим реанимации, состоящий из двух фаз – компрессии (сжатия) и декомпрессии (разжатия) грудной клетки, что равнозначно соответственно выдоху и вдоху.

Для реализации фазы компрессии подается питание на мотор-редуктор 1. Открывается запорный клапан 16, что позволяет атмосферному воздуху поступать в легкие при компрессии и декомпрессии грудной клетки, т.е. параллельно восстановлению кровотока осуществляется сопутствующая вентиляция легких.

Вращение выходного вала мотор-редуктора со шкивом 2 приводит к наматыванию ленты 5 на шкив, т.е. к ее натяжению, и к созданию в зоне контакта накладки 14 с грудиной усилий F , а в зонах контакта ленты с ребрами распределенных сжимающих усилий q , вызывающих деформацию ребер, уменьшение длины окружности грудной клетки и прогиб грудины. Сжатие грудной клетки продолжается до достижения заданного значения на выходе датчика 8.

Для реализации фазы декомпрессии осуществляется реверсирование мотор-редуктора 1, натяжение ленты устраняется, что позволяет ребрам за счет накопленной в них при сжатии энергии упругих деформаций вернуть грудную клетку в исходное состояние, т.е. увеличить до первичной длину ее окружности.

Необходимая частота циклического нагружения (сжатия/разжатия) грудной клетки (на практике принимается 100 - 120 циклов в минуту) и количество циклов нагружения (рекомендуется 30 или 15), устанавливается с помощью пульта 30.

После выполнения заданного количества циклов устройство для наружного масса выключается, закрывается запорный клапан 16 и включается устройство для искусственной вентиляции легких (ИВЛ), выполняющее, например, 2 - 3 установленных с помощью пульта цикла (вдох/выдох) подачи воздуха в легкие с частотой 15...20 циклов в минуту, что реализуется путем поочередного включения/выключения электродвигателей нагнетающего 26 и откачивающего 24 насосов, а также переключения пневмораспределителя 21, перекрывающего, как это показано на **Рис.1**, при работе нагнетающего насоса откачивающий трубопровод 19.

Поочередное включение устройств в процесс реанимации повторяется до появления у пациента устойчивого пульса, который косвенно подтверждает возобновление работы легких, т.е. дыхания. Восстановление у пациента пульса

фиксируется датчиком пульса 6 и подтверждается световым и звуковым сигналами на пульте и платформе, после чего устройство для наружного массажа сердца и устройство для искусственной вентиляции легких переходят в режим ожидания, а запорный клапан 16 открывается.

Возобновление работы устройств осуществляется автоматически в случае остановки сердца, т.е. при прекращении поступления сигналов от датчика пульса, что также сопровождается звуковыми и световыми сигналами.

Диаметр D шкива 8, обеспечивающего натяжение ленты при ее намотке на него и влияющего на размеры платформы (высоту), ее массу и расход электроэнергии для перемещения ленты на необходимую величину, определяется с учетом следующих рекомендаций.

Средняя длина окружности груди взрослого человека (мужчины) равна 870,0 мм [10], а рекомендуемая глубина прогиба грудины при наружном массаже сердца должна составлять у взрослых 50,0 ... 60,0 мм [11].

Расчеты показывают, что для обеспечения прогиба грудины 50 мм необходимо уменьшить длину окружности грудной клетки за счет сжатия на 154 мм, т.е. каждый конец ленты после подтяжки должен переместиться при намотке на шкив на 77 мм.

Учитывая вышеизложенное, длина полуокружности шкива $\pi D / 2$ должна быть равна сумме перемещения конца ленты при сжатии груди (77,0 мм) и некоторого резервного перемещения (например, 20,0 мм), т.е. $\pi D / 2 = 77,0 + 20,0 = 97$ мм, откуда $D \approx 62$ мм.

Таким образом, минимизируется время работы мотор-редуктора для совершения шкивом углового перемещения (вращения) на 180° , т.е. необходимо выполнить половину оборота шкива для обеспечения требуемой величины деформации грудной клетки и однослойной намотки ленты на него.

Заключение. Применение в составе переносного портативного автоматического реаниматора для восстановления сердечно-легочной деятельности конструктивно и функционально связанных между собой технических решений устройств для НМС и ИВЛ способствует упрощению его конструкции, снижению металлоемкости, уменьшению габаритных размеров и энергопотребления, и, как следствие, повышает надежность и долговечность работы. Перечисленные особенности позволяют эффективно применять данное устройство как переносное в экстремальных условиях (медицина катастроф, военно-полевая медицина и др.).

Библиографический список

1. Реаниматор: А.С. СССР №564864, МПК А61Н 31/00/ Н.В. Хапилов, В.М. Башлыков; опубликовано 15.07.77, Бюл. №26.

2. Сердечно-легочная реанимация. Рекомендации Европейского совета по реанимации и Американской ассоциации сердца [Электронный ресурс]. – URL: <https://medprosvita.com.ua/serdechno-legochnaya-reanimaciya-rekome/>.
3. Кузнецова О.Ю. Сердечно-легочная и расширенная реанимация / О.Ю. Кузнецова, К.М. Лебединский, Т.А. Дубикайтис – СПб: Издательство СПбМАПО, 2005. – 176 с.
4. Зильбер А.П. Этюды критической медицины / А.П. Зильбер – М.: Медпресс-информ, 2006. – 568 с.
5. Устройство закрытого массажа сердца: патент РФ №2180551, МПК А61Н 9/00, А61Н 31/00 / Н.А. Курков, Н.М. Лебедев, И.К. Таланов и др.; опубл. 20.03.2002.
6. Устройство для компрессионно-декомпрессионной реанимации: патент РФ №2180827, МПК А61Н 31/00 / В.Л. Радужкевич; опубл. 27.03.2002.
7. Устройство для сердечно-легочной реанимации LUCAS http://adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm.
8. Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации LUCAS-2 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.deal-med.ru/ustrojstvo_dlja_serdechno_legochnoj_reanimacii_lucas_2.html.
9. Автоматическое устройство для сердечно-легочной реанимации ZOLL [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.zoll.com/ru/medical-products/resuscitation-system/autopulse/ems>
10. Таблицы измерений [Электронный ресурс]. – URL: <http://opnevmonii.ru/wp-content/uploads/2017/01/Рисунок1.jpg>
11. Порядок проведения сердечно-легочной реанимации у взрослых и детей [Электронный ресурс]. – URL: <http://okardio.com/ostalnoe/serdechno-legochnaya-reanimaciya-590.html>

Bibliograficheskiy spisok

1. Reanimator: A.S. SSSR №564864, МПК А61Н 31/00/ N.V. Hapilov, V.M. Bashlykov; опубликовано 15.07.77, Byul. №26.
2. Serdechno-legochnaya reanimaciya. Rekomendacii Evropejskogo soveta po reanimacii i Amerikanskoj associacii serdca [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://medprosvita.com.ua/serdechno-legochnaya-reanimaciya-rekome/>.
3. Kuznecova O.YU. Serdechno-legochnaya i rasshirennaya reanimaciya / O.YU. Kuznecova, K.M. Lebedinskij, T.A. Dubikajtis – SPb: Izdatel'stvo SPbMAPO, 2005. – 176 s.
4. Zil'ber A.P. Etyudy kriticheskoj mediciny / A.P. Zil'ber – М.: Medpress-inform, 2006. – 568 s.
5. Ustrojstvo zakrytogo massazha serdca: patent RF №2180551, МПК А61Н 9/00, А61Н 31/00 / N.A. Kurkov, N.M. Lebedev, I.K. Talanov i dr.; opubl. 20.03.2002.

6. Ustrojstvo dlya kompressionno-dekompressionnoj reanimacii: patent RF №2180827, MPK A61N 31/00 / V.L. Radushkevich; opubl. 27.03.2002.
7. Ustrojstvo dlya serdechno-legochnoj reanimacii LUCAS http://adhara.ru/articles/autopulse_and_cpr.htm.
8. Avtomaticheskoe ustrojstvo dlya serdechno-legochnoj reanimacii LUCAS-2 [Elektronnyj resurs]. – URL: http://www.deal-med.ru/ustrojstvo_dlja_serdechno_legochnoj_reanimacii_lucas_2.html.
9. Avtomaticheskoe ustrojstvo dlya serdechno-legochnoj reanimacii ZOLL [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.zoll.com/ru/medical-products/resuscitation-system/autopulse/ems>
10. Tablija izmerenij [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://opnevmonii.ru/wp-content/uploads/2017/01/Risunok1.jpg>
11. Poryadok provedeniya serdechno-legochnoj reanimacii u vzroslyh i detej [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://okardio.com/ostalnoe/serdechno-legochnaya-reanimaciya-590.html>.

Пашков Евгений Валентинович, д.т.н., профессор, pashkov@sevsu.ru, Россия, Севастопольский государственный университет

PORTABLE PORTABLE AUTOMATIC REANIMATOR FOR RESTORING CARDIAC-PULMONARY ACTIVITY

E.V. Pashkov

The results of the analysis of the designs and functional capabilities of a number of automatic devices from well-known manufacturers of medical equipment used for cardiopulmonary re-animation are presented. A schematic diagram, a description of the design and the principle of operation of a portable portable automatic resuscitator for the restoration of cardiopulmonary activity of a person, placed on a portable platform with devices with electric drives located inside, for external heart massage with ribbons of chest pads of a bandage and for ventilation of the lungs with a breathing mask is given. equipped with a shut-off valve, air pressure and pulse sensors. A control device and an autonomous power source are also located inside the platform. Before the start of resuscitation, using the control panel, the parameters of the force impact on the chest, depending on its size, are set.

Key words: cardiopulmonary resuscitation, closed heart massage, chest bandage, lung ventilation, breathing mask, adjustable electric drive, air pressure and pulse sensors.

Pashkov Evgeny Valentinovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, pashkov@sevsu.ru, Russia, Sevastopol State University

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО-ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Научный журнал
Выпуск №2(14) 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 23.06.2021. Заказ 017К. Дата выхода в свет: 29.06.2021. Тираж: 50 экз.
Цена: Бесплатно. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Объем усл. печ. л. 12,43.

Севастополь, 2021