

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

№1(17)
2022

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, 2022

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
Варганов М.В., д.т.н., проф.
(г. Москва)
Бахадиров Г.А., д.т.н., проф.
(г. Ташкент)
Доронина Ю.В., д.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Жмудь В.А., д.т.н., проф.,
(г. Новосибирск)
Обжерин Ю.Е., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Пашков Е.В., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Песчанский А.И., д.т.н., проф.
(г. Севастополь)
Петрешин Д.И., д.т.н., проф.
(г. Брянск)
Прейс В.В., д.т.н., проф.
(г. Тула)
Рзаев Р.Р., д.т.н., проф.
(г. Баку)
Балакин А.И., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Заморёнов М.В., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)
Рапацкий Ю.Л., к.т.н., доц.
(г. Севастополь)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ

- Карлов А.Г., Шпаковский Н.А.** Анализ вариантов повышения качества печати струйного принтера посредством ресурсов софта solving mill 2.0. 3
- Бохонский А.И., Майстришин М.М., Чебоксаров В.В.** Упрощенная динамическая модель маятниковой волновой энергоустановки 20

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- Шушляпин Е.А., Безуглая А.Е., Кутахин А.П.** Аналитический расчет моментов инерции и сопротивления трёхзвенного манипулятора 26
- Балакин А.И., Балакина Н.А., Мирзоян Н.Ю.** Анализ функционирования автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание по результатам контроля, на основе имитационного моделирования 35
- Копп В.Я., Чаленков Н.И., Заморёнов М.В.** Аппроксимация функции последовательной разности случайных величин функцией остаточного времени наработки системы 48
- Доронина Ю.В., Мустафаева М.И.** Система поддержки принятия решений по повышению производительности прикладных высоконагруженных баз данных 56

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

- Скатков И.А., Осипов К.Н.** Обработка показаний элемента холла в концевых датчиках линейных перемещений механизмов 71
- Мирзоян Н.Ю., Балакин А.И., Балакина Н.А.** Анализ влияния параметров измерительной цепи на вносимое напряжение при вихретоковом контроле 78

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ И ТЕХНОЛОГИИ

- Поливцев В.П., Пашков Е.В., Поливцев В.В., Калинин М.И.** 88
- Индивидуальный аппарат жидкостного дыхания с замкнутой циркуляцией дыхательной жидкости

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 658.512.2(075.8)

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПЕЧАТИ СТРУЙНОГО ПРИНТЕРА ПОСРЕДСТВОМ РЕСУРСОВ СОФТА SOLVING MILL 2.0

Карлов А.Г.¹, Шпаковский Н.А.²

Аннотация. Представлен анализ особенностей работы струйного принтера с поиском причин снижения качества печати. Анализ выполнен посредством ресурсов софта Solving Mill 2.0. Рассматриваются следующие проблемы: струйный принтер обеспечивает хорошее качество печати и имеет сравнительно невысокую стоимость; лучшим активатором считается паровой, поскольку он не имеет движущихся частей, однако при увеличении частоты выстреливания капель парового струйного принтера возникает недостаток — отпечаток получается с дефектами. Рассматривается устройство печатающей головки струйного принтера (это емкость с чернилами, в дне которой в несколько рядов расположены ячейки, выстреливающие капельки чернил на бумагу) и с использованием ресурсов софта Solving Mill 2.0. иллюстрируется технология изобретательского мышления, которая приводит решателя проблемы к вариантам устранения упомянутого недостатка струйного принтера.

Ключевые слова. Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ); общая теория сильного мышления (ОТСМ); алгоритм исправления проблемных ситуаций (АИПС); нежелательный эффект; вредный продукт; моделирование полезной системы; моделирование вредной системы; печатающая головка струйного принтера, капилляр для наполнения камеры; кольцевой нагреватель.

Принцип работы струйной печати заключается в выдавливании чернильных капель через сопла — тончайшие отверстия в печатной головке принтера. Как и любые инновации, эта технология претерпела множество видоизменений, прежде чем дойти до нас в своем сегодняшнем виде. Струйный принтер обеспечивает хорошее качество печати и имеет невысокую стоимость. На чернила воздействует активатор, и капля чернил выстреливается через сопло на бумагу.

Изобретения в области струйной печати появились сравнительно давно. Первые шаги в этой области сделал физик Феликс Савар в далеком 1833 г. Он обратил внимание, что, пропуская жидкость через узкие отверстия, можно получить абсолютно идентичные капли.

В 1867 г. физик из Великобритании лорд Рейли подвел под это явление математическую базу и запатентовал первый самопишущий

прибор для телеграфа. Прибор работал по принципу непрерывной подачи чернил.

Прошло больше полувека, прежде чем компания Siemens в 1951 г. презентовала свой первый струйный принтер, разделяющий непрерывный поток чернил на одинаковые капли. Прототипы первых печатных устройств были громоздкими, дорогими, медленно печатали и не отличались надежностью [9].

Было очевидно, что такая техника требует модернизации. В конце 70-х гг. прошлого столетия компания Canon реализовала в своих принтерах технологию «Drop-on-demand», то есть «печать по требованию». Чернила нагревались с помощью термоэлемента и в них образовывались пузырьки воздуха, выталкивающие краску на поверхность. Ценным достижением стало многократное удешевление печатного процесса. Новая технология получила название «пузырьковой печати» и произвела фурор среди научной общественности. В 1985 г. Canon уже выпустили первый пузырьковый принтер BJ-80 (Рис.1а) [9].

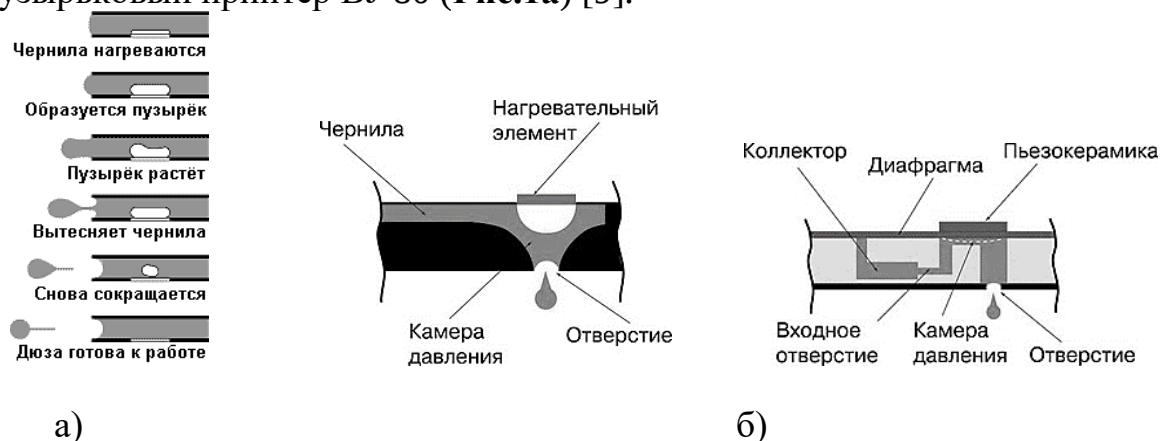


Рис.1 – а) Термическая печать (Thermal Ink Jet)
б) Пьезоэлектрическая печать (Piezoelectric Ink Jet) — «Epson»

Разработки в мире печатной техники вели не только Canon. В 1980 году независимо от конкурентов Hewlett-Packard разработала технологию термической струйной печати. Ее принцип работы перекликался с пузырьковым методом. Настоящий успех пришел к HP в 1984 г. после выпуска серии принтеров ThinkJet. Благодаря разумному соотношению цены и качества эти устройства стали очень популярными среди пользователей [7, 8, 9].

Именно эта компания запатентовала технологию пьезоэлектрической печати в 1993 г. Принцип работы заключается в свойстве пьезокристаллов деформироваться под действием тока (Рис.1б). Этот процесс позволяет регулировать размер капли, ее толщину и скорость выброса. В результате получаются отпечатки с высоким разрешением и естественной передачей

цвета, что крайне важно при фотопечати. Сегодня право на производство пьезоэлектрических принтеров принадлежит только компании Epson [7,8, 9].

Целью настоящего исследования является анализ возможностей применения софта Solving Mill 2.0 в процессе работы над проблемой повышения качества печати струйного принтера.

В Лаборатории ТРИЗ на кафедры ПСАТП (Приборные системы и автоматизация технологических процессов) Политехнического института Севастопольского государственного университета (СевГУ) в сентябре 2021 года появился новый эффективный ресурс обучения студентов и аспирантов умениям и навыкам изобретательского мышления. Лаборатория оснащена новым лицензионным программным обеспечением процессов поддержки изобретательской деятельности. Тип софта Solving Mill 2.0 – SaaS (Software as a Service – Облачное программное обеспечение); CAI (Computer Aided Innovation – Автоматизация инновационных процессов).

Программное обеспечение создано компанией Target Invention Ltd. Научный руководитель компании Шпаковский Н.А. Коллектив кафедры ПСАТП сотрудничает с этой компанией уже много лет. К сожалению, в ноябре 2021 года мой коллега и соавтор многих публикаций Николай Андреевич Шпаковский скорпостижно ушёл из жизни из-за коварного ковида. Но эту и ещё ряд статей мы со Шпаковским Н.А. планировали вместе еще в 2021 году, и поэтому публикую данный материал в соавторстве и с глубокой благодарностью Николаю Андреевичу за многолетнее творческое сотрудничество и дружбу.

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 [2 – 6].

В новой Лаборатории ТРИЗ создана программа для специалистов промышленных предприятий России, которые могут проходить курсы повышения квалификации по программе Института дополнительного профессионального образования. Результаты индивидуальной работы каждого студента или инженера по собственной тематике могут быть сохранены под паролями в виде отчетов по их проектам с возможностью автоматически генерировать заготовки патентной формулы

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

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

Фрагменты отчета по теме «Анализ работы ячейки струйного принтера и поиск вариантов повышения качества печати».

Generator: Solving Mill version SM-2.0

Рассмотрим некоторые из процедур и результаты применения софта Solving Mill 2.0. с целью генерации патентоспособных решений повышения качества печати струйных принтеров. Ниже размещены некоторые фрагменты отчета работы Решателя с указанным софтом.

Опишите проблемную ситуацию в свободной форме.

Струйный принтер обеспечивает хорошее качество печати и имеет невысокую стоимость. Принцип его работы следующий. Чернила содержатся в камере, внизу которой есть отверстие (сопло). На чернила воздействует активатор, и капля чернил выстреливается через сопло на бумагу. Лучшим активатором считается паровой, поскольку он не имеет движущихся частей. Давление в камере с чернилами поднимается благодаря образованию там пузырька пара, получаемого с помощью нагревателя. При увеличении частоты выстреливания капель парового струйного принтера возникает недостаток — отпечаток получается с дефектами. Вокруг основного отпечатка на бумаге возникают мелкие брызги чернил.

Как повысить качество печати?



Рис.2 – Струйный принтер и дефекты печати

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

Один из первых вопросов софта к Решателю: «Вы можете сформулировать условие задачи?». Ответ может быть «да» или «нет».

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

Определение обстоятельств проблемной ситуации.

Укажите полезный продукт.

Чернильный отпечаток на бумаге.

Опишите процесс производства полезного продукта.

Изображение формируется каплями чернил, выстреливаемыми на бумагу из камеры через сопло при помощи парового активатора.

Укажите нежелательный эффект.

Дефекты отпечатка.

Определите машину, производящую полезный продукт.

Машина

Печатающий механизм струйного принтера

Процесс

Получение чернильного отпечатка на листе бумаги

Вредный продукт

Мелкие пятна на бумаге около основного отпечатка

Полезный продукт

Чернильный отпечаток на бумаге

Сформулируйте главную полезную функцию (ГПФ) машины "Печатающий механизм струйного принтера".

Получить чернильный отпечаток на листе бумаги.

Опишите состав и устройство машины "Печатающий механизм струйного принтера".

Компоненты машины

Емкость с чернилами, капилляр, сферическая камера, кольцевой нагреватель, сопло.

Устройство машины

Печатающая головка струйного принтера — это емкость с чернилами, в дне которой в несколько рядов расположены ячейки, выстреливающие капельки чернил на бумагу. Каждая ячейка представляет собой полусферическую камеру. В нижней части камеры расположено сопло для выхода чернил, а в верхней — капилляр для наполнения камеры. В плоском дне камеры расположен кольцевой нагреватель, охватывающий сопло (Рис.3).

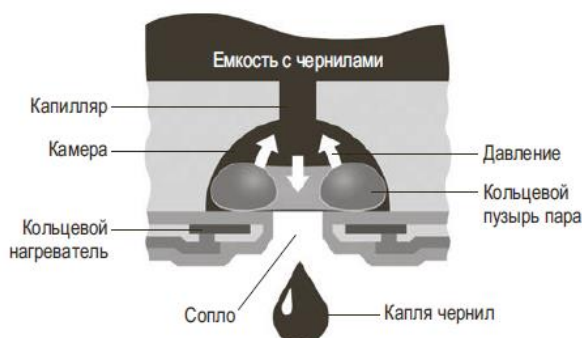


Рис. 3 – Компоненты ячейки струйного принтера

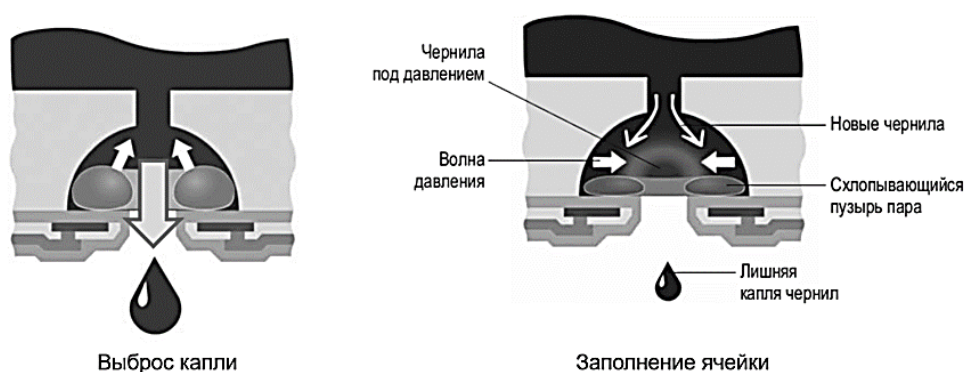


Рис.4 – Образование лишней капли чернил в ячейке струйного принтера

Опишите, как машина "Печатающий механизм струйного принтера" работает.

На кольцевой нагреватель подается электрический импульс. Под воздействием тепла в камере образуется кольцевой пузырек пара. В камере повышается давление, и капля чернил выталкивается через сопло. После выключения нагревателя пузырек пара исчезает. Чернила из емкости через капилляр входят в сферическую камеру, и заполняют ее. Заполнение начинается вдоль стенок сферической емкости, чернила движутся на место закрывающегося пузыря пара. Ячейка готова к следующему выстрелу.

Определите проблемную операцию.

Схема проблемной операции.

Исполнитель.

Капилляр и исчезающий пузырь пара.

Операция.

Подача чернил вдоль стенок сферической камеры.

Вредный продукт.

Лишняя капля чернил (Рис.4).

Полезный продукт.

Чернила в камере.

Опишите, как выполняется проблемная операция.

Орган управления
Закрывающийся пузырь пара ↓ 



?

Источник энергии
Закрывающийся пузырь пара →



?

Двигатель
Подсос чернил →



?

Трансмиссия
Чернила →



?

Инструмент
Поток чернил →



?

Обрабатываемый объект

Чернила в ёмкости →



?

Полезный продукт
Чернила в камере

Опишите конфликт.



?

Вредный инструмент

Скачок давления при заполнении ячейки →



?

Негативное действие

выталкивает через сопло →



?

Обрабатываемый объект

Чернила →



?

Вредный продукт операции
Дополнительная капля чернил

?

Место конфликта

Около сопла.

?

Время конфликта

После выхода основной капли через сопло.

Причины конфликта

Определите причины конфликта

Сформулируйте гипотезы устранения конфликта

После формулирования гипотез продолжите решение, выбрав справа гипотезу для построения модели задачи на её основе.

Причины конфликта по результатам причинно-следственного анализа



Возникает скачок давления около сопла ячейки



Закрывающийся пузырь пара подсасывает чернила (эффект вакуумного взрыва)



Сферические стенки камеры не тормозят поток чернил



Чернила движутся на место закрывающегося пузыря пара



Поток чернил движется от капилляра вдоль сферических стенок камеры



Углы камеры жёсткие



Поток чернил отталкивается от угла камеры



Скачок давления при заполнении ячейки выталкивает через сопло чернила



К соплу приходит волна потока чернил

Выберите гипотезу для решения

Для продолжения решения необходимо в правой колонке на вкладке "Гипотезы" выбрать одну (любую, желательно наиболее перспективную) гипотезу. Для этого кликните по кнопке "Стрелка влево" напротив нужной гипотезы.

В "Менеджере гипотез" вы можете проанализировать каждую гипотезу и сформулировать подходящую модель задачи.

Гипотеза

Г1. Чтобы устранить движение чернил по дну ячейки от краев ячейки к середине (соплу) - установить преграду на пути чернил.

Выбор модели задачи

Модель задачи "Условия в оперативной зоне"

✓ Модель задачи "Действие в оперативной зоне"

Модель задачи "Техническое противоречие"

Модель задачи "Физическое противоречие"

Формулировка модели задачи "Действие в оперативной зоне"

Укажите инструмент

поток чернил

Укажите действие

движет к соплу камеры

Укажите объект

чернила

Что требуется исправить?

Инструмент слишком сложный

Нет инструмента для выполнения нужного действия

Полезное действие сопряжено с вредным

✓ Полезное действие избыточное

Полезное действие недостаточное

Выберите способ преобразования

Ввести в систему защитный компонент, экранирующий зоны, на которые сильное воздействие не желательно

✓ Ввести в систему компонент, поглощающий избыток действия

Направить избыток действия на другой компонент системы

Рассеять действие

Ввести дополнительно антидействие, компенсирующее излишек действия

Модель решения

Для ослабления действия ввести в систему компонент, поглощающий избыток действия. Концепция совпадает с рабочей гипотезой "Поставить преграду на пути чернил".

Знаете компонент?

Да

✓ Нет

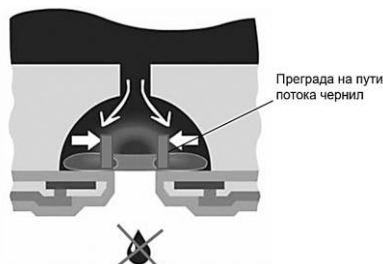


Рис.5 – Согласно рабочей гипотезе Г1 для устранения движения чернил по дну ячейки от краев ячейки к середине (соплу) - установить преграду на пути чернил

Назначение компонента

Что должен делать компонент?

Затормаживать поток чернил от краев камеры к центру. Желательно отклонять их вверх от сопла.

Где?

Вокруг сопла

Когда?

При заполнении ячейки

Описание искомого компонента

Размер

Больше сопла, но меньше камеры

Форма

Располагаться вокруг сопла по кругу, чтобы препятствовать движению потока от стенок со всех направлений. Преграда должна представлять собой кольцевой барьер.

Поверхность

По технологии изготовления

Внутреннее пространство

Материал

По технологии изготовления (предпочтительно кремний)

Динамичность

Преграда должна быть установлена постоянно

Управляемость

Сопоставьте имеющиеся в системе компоненты (ресурсы) с требованиями к компоненту. Выберите наиболее подходящий компонент

Емкость с чернилами

капилляр

сферическая камера

кольцевой нагреватель

сопло

✓ дно камеры

ни один не подходит

Требуется ли преобразовать компонент "Сферическая стенка камеры в области угла камеры" для применения в системе?

✓ Да.

Нет.

Какие атрибуты компонента "Сферическая стенка камеры в области угла камеры" и как нужно преобразовать?

Размер

Форма

выполнить на дне камеры кольцевой выступ вокруг сопла

Поверхность

Внутреннее пространство

Материал

Динамичность

Управляемость

Другое

Укажите место и положение компонента в системе

не меняется

Требуется ли преобразовать систему?

Да

✓ Нет

Требуется ли дополнительно преобразовать компоненты системы?

Да

✓ Нет

Предварительное решение

Для ослабления действия ввести в систему компонент, поглощающий избыток действия. Концепция совпадает с рабочей гипотезой Г1 "Поставить преграду на пути чернил".

Форма: выполнить на дне камеры кольцевой выступ вокруг сопла (Рис.5).

Гипотеза

Г2. Движение чернил к середине (соплу) можно устранить или ослабить, если уменьшить отталкивание чернил от угла камеры.

Выбор модели задачи

✓ Модель задачи "Условия в оперативной зоне"

Модель задачи "Действие в оперативной зоне"

Модель задачи "Техническое противоречие"

Модель задачи "Физическое противоречие"

Сформулируйте модель задачи "Условия в оперативной зоне"

Круговой поток чернил движется по стенкам полусферической камеры, достигает ее угла и отталкивается к середине камеры. Сила отталкивания чрезмерно велика, это вызывает резкое движение чернил к соплу, всплеск давления и выброс паразитной капли чернил. Проблему можно устранить, если уменьшить силу отталкивания потока чернил от угла камеры к соплу. Как создать условия, чтобы уменьшить отталкивание от угла камеры?

Рекомендуемые преобразования

Ввести в оперативную зону новый компонент

✓ Преобразовать компонент оперативной зоны

Удалить компонент из оперативной зоны

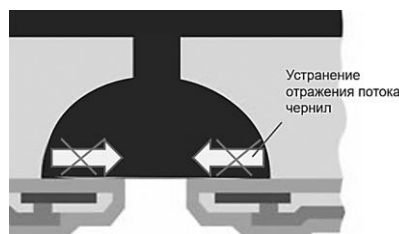


Рис.6 – К задаче устранения отражения потока чернил

Укажите компонент в оперативной зоне для преобразования

Сферическая стенка камеры в области угла камеры

Какие атрибуты компонента "Сферическая стенка камеры в области угла камеры" и как нужно преобразовать?

Размер

Форма

Изменить форму стенки в области угла камеры. Имеется подсказка - использовать торообразный компонент.

Поверхность

Шероховатая с выступами для торможения потока (согласно гипотезе ГЗ).

Внутреннее пространство

Ввести пустоту внутрь торообразной полости.

Материал

Динамичность

Сделать стенку, которая увеличивает динамичность потока чернил.

Если использовать торообразную пустоту, то поток чернил будет закручиваться и затормаживаться.

Управляемость

Автоматически потоком чернил

Другое

ИКР: поток чернил сам себя завихряет и тормозит.

Модель решения

Для создания требуемых условий нужно преобразовать компонент Сферическая стенка камеры в области угла камеры следующим образом: Форма: Изменить форму стенки в области угла камеры. Имеется подсказка - использовать торообразный компонент. Поверхность: Шероховатая с выступами для торможения потока. Внутреннее пространство: Ввести пустоту внутрь торообразной полости. Динамичность: Сделать стенку, которая увеличивает динамичность потока чернил. Если использовать торообразную пустоту, то поток чернил будет закручиваться и затормаживаться. Управляемость: Автоматически потоком чернил. Другое: ИКР: поток чернил сам себя завихряет и тормозит.

Требуется ли преобразовать систему?

Да

✓ Нет

Требуется ли дополнительно преобразовать компоненты системы?

Да

✓ Нет

Предварительное решение

Преобразовать стенку камеры в области угла камеры. Выполнить по периметру камеры торообразную полость. Такая полость будет завихрять поток чернил, и тормозить движение чернил к соплу.

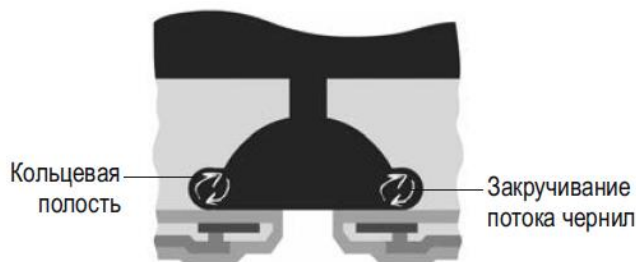


Рис.7 – Создание по периметру камеры торообразной полости

Данное решение устраивает?

✓ Да

Нет

Сформулируйте финальное решение

Преобразовать стенку камеры в области угла камеры. Выполнить по периметру камеры торообразную полость. Такая полость будет завихрять поток чернил и тормозить движение чернил к соплу.

Для ослабления действия ввести в систему компонент, поглощающий избыток действия. Концепция совпадает с рабочей гипотезой "Поставить преграду на пути чернил".

Согласно гипотезе Г3 сделать стенки полусферической камеры и дно шероховатыми.

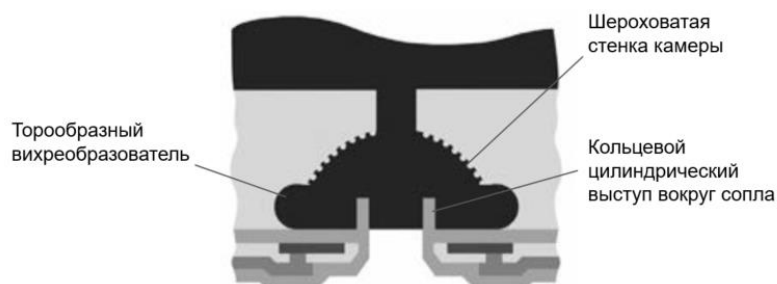


Рис.8 – к финальному решению - сделать стенки полусферической камеры и дно шероховатыми

Завершение проекта

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

Пункт 1. Устройство для получения чернильного отпечатка на листе бумаги, включающее емкость с чернилами, капилляр, сферическую камеру, кольцевой нагреватель, сопло, дно камеры, в котором необходимо преобразовать стенку камеры в области угла камеры. Выполнить по периметру камеры торообразную полость. Такая полость будет завихрять поток чернил, и тормозить движение чернил к соплу. Для ослабления действия ввести в систему компонент, поглощающий избыток действия. Концепция совпадает с рабочей гипотезой "Поставить преграду на пути чернил". Согласно гипотезе Г3 сделать стенки полусферической камеры и дно шероховатыми.

Пункт 2. Устройство по пункту 1, в котором для ослабления действия ввести в систему компонент, поглощающий избыток действия. Концепция совпадает с рабочей гипотезой "Поставить преграду на пути чернил».

Пункт 3. Устройство по пункту 1, в котором преобразовать стенку камеры в области угла камеры. Выполнить по периметру камеры торообразную полость. Такая полость будет завихрять поток чернил, и тормозить движение чернил к соплу.

Выводы:

1. Применение программного продукта Solving Mill 2.0. позволяет значительно ускорить процессы анализа предпроектной ситуации, лучше понять алгоритмы поиска изобретательских решений, приобрести и закрепить на практике необходимые навыки поиска нетривиальных изобретательских решений.

2. Приведенные в статье «Фрагменты отчета по теме «Анализ работы ячейки струйного принтера и поиск вариантов повышения качества

печати» дают возможность читателям проследить алгоритм диалога софта с Решателем, терминологию и ресурсы программы, увидеть итог анализа в виде автоматически сгенерированной заготовки патентной формулы предполагаемого изобретения.

Библиографический список

- 1 Шпаковский Н.А. ОТСМ-ТРИЗ: подходы и практика применения: учеб. пособие / Н.А. Шпаковский. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 504 с.
- 2 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.
- 3 Карлов А.Г. Обоснование актуальности и алгоритма системной подготовки специалистов проектирования инновационной техники и технологий / А.Г. Карлов // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. – 2018. – № 3(7). – С. 26-43.
- 4 Карлов А.Г. Особенности алгоритмов решения изобретательских задач и софта для поддержки процессов проектирования средств автоматизации инструментами ОТСМ-ТРИЗ-технологий / А.Г. Карлов, Н.А. Шпаковский // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. – 2018. – № 4(8). – С. 3-17.
- 5 Сайт компании Target Invention Ltd: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://solving-mill.com>
- 6 Сайт Обучающая система ТРИЗ-тренинг: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://triztrainer.ru/>
- 7 Технология струйной печати и её перспективы: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.bestprint.ru/content/tekhnologiya-struinoi-pechati-i-ee-perspektivy>
- 8 Струйная печать Epson под микроскопом: сравнение качества печати на 9 видах бумаги двумя типами чернил: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/epson/blog/528716/>
- 9 Секреты печати: обзор технологий струйной печати: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://rustoner.ru/news/sekretyi-pechati-obzor-tehnologiy-struynoy-pechati>

Bibliograficheskiy spisok

1. Shpakovsky N.A. OTSM-TRIZ: podhody i praktika primeneniya: ucheb. posobie / N.A. Shpakovskij. – М.: INFRA-M, 2018. – 504 s.
2. Karlov A.G. Idei, izobreteniya, innovacii v sfere avtomatizacii tekhnologij i tekhnicheskix sistem: uchebnoe posobie / A.G. Karlov, N.A. Shpakovsky – М.: Centr katalog, 2019. – 536 s.

3. Karlov A.G. Obosnovanie aktual'nosti i algoritma sistemnoj podgotovki specialistov proektirovaniya innovacionnoj tekhniki i tekhnologij / A.G. Karlov // Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii. – 2018. – № 3(7). – S. 26-43.
4. Karlov A.G. Osobennosti algoritmov resheniya izobretatel'skih zadach i softa dlya podderzhki processov proektirovaniya sredstv avtomatizacii instrumentami OTSM-TRIZ-tekhnologij / A.G. Karlov, N.A. Shpakovsky // Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii. – 2018. – № 4(8). – S. 3-17.
5. Sajt kompanii Target Invention Ltd: [elektron. resurs]. Rezhim dostupa: <https://solving-mill.com>
6. Sajt Obuchayushchaya sistema TRIZ-trener: [elektron. resurs]. Rezhim dostupa: <https://triztrainer.ru/>
7. Tekhnologiya strujnoj pechati i eyo perspektivy: [elektron. resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.bestprint.ru/content/tekhnologiya-struinoi-pechati-i-ee-perspektivy>
8. Strujnaya pechat' Epson pod mikroskopom: sravnenie kachestva pechati na 9 vidah bumagi dvumya tipami chernil: [elektron. resurs]. Rezhim dostupa: <https://habr.com/ru/company/epson/blog/528716/>
9. Sekrety pechati: obzor tekhnologij strujnoj pechati: [elektron. resurs]. Rezhim dostupa: <https://rustoner.ru/news/sekretyi-pechati-obzor-tehnologiy-strujnoy-pechati>.

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

²Шпаковский Николай Андреевич, к.т.н., Мастер ТПИЗ, triztrainer@gmail.com, Беларусь, Минск, Target Invention Ltd

ANALYSIS OF OPTIONS FOR IMPROVING THE PRINTING QUALITY OF THE INJET PRINTER USING SOLVING MILL 2.0 SOFTWARE RESOURCES

A.G. Karlov, N.A. Shpakovsky

An analysis of the features of the operation of an inkjet printer with a search for the reasons for the decline in print quality is presented. The analysis was performed using the Solving Mill 2.0 software resources. The following problems are considered: an inkjet printer provides good print quality and has a relatively low cost, the best activator is considered to be a steam one, since it does not have moving parts, however, with an increase in the frequency of shooting drops of a steam inkjet printer, a disadvantage arises - the print is obtained with defects. The device of the printhead of an inkjet printer is considered (this is a container with ink, in the bottom of which there are cells in several rows that shoot ink droplets onto paper) and through the resources of the Solving Mill 2.0 software. the technology of inventive thinking is illustrated,

which leads the problem solver to options for eliminating the mentioned disadvantage of an inkjet printer.

Keywords: theory of inventive problem solving (TRIZ), general theory of strong thinking (OTSM), algorithm for correcting problem situations (AIPS), unwanted effect, harmful product, modeling of a useful system, harmful system modeling, print head of an inkjet printer, capillary for filling the chamber, ring heater

Karlov Anton Georgievich, candidate of technical sciences, docent, antkar38cam@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

<i>Shpakovsky Nikolay Andreevich, candidate of technical sciences, Master of TRIZ, triztrainer@gmail.com, Belarus, Minsk, Target Invention Ltd</i>
--

УПРОЩЕННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МАЯТНИКОВОЙ ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Бохонский А.И.¹, Майстришин М.М.², Чебоксаров В.В.³

Аннотация. Предложена и исследована упрощенная динамическая модель волновой энергетической установки маятникового типа с возможностью использования явления резонанса для увеличения амплитуд колебаний маятника. Определены частоты собственных колебаний установки и найдено решение системы неоднородных дифференциальных уравнений, описывающих вынужденные колебания при волновых воздействиях.

Ключевые слова. Преобразователь энергии, уравнение движения, частоты колебаний, решение уравнений, анализ динамического поведения.

Основа общей теории колебаний и вынужденных колебаний линейных систем посвящены известные труды [1–5]. В этих работах на примерах систем преимущественно с конечным числом степеней свободы иллюстрируется применение теории колебаний к расчету объектов техники. Например, в [3] отражены методы колебаний систем с конечным числом степеней свободы и линейных систем с распределенными параметрами. Ряд приложений теории колебаний иллюстрируется в популярной монографии Я.Г. Пановко [1].

Систематизированное применение теории колебаний для решения актуальных задач современной техники приведено в сборнике задач по теоретической механике [5] и по теории колебаний [4].

Ряд новых задач моделирования динамического поведения упругих объектов при оптимальных уравнениях движения приведено в публикациях [6–10].

В первом приближении схема объекта (**Рис.1**) может представлять собой маятниковую волновую энергоустановку В.В. Чебоксарова [11], в которой предлагается использование явления резонанса.

Поведение объекта при волновом воздействии представляет собой сложное явление, обусловленное нелинейным характером колебаний, большими перемещениями и демпфированием. Поэтому математическая модель должна учитывать достаточное число степеней свободы, физическую и геометрическую нелинейность при исследовании динамического поведения объекта с учетом детерминированных и случайных воздействий. Создание такой модели предполагает предварительное исследование колебаний простого маятникового объекта при ряде упрощенных предпосылок.

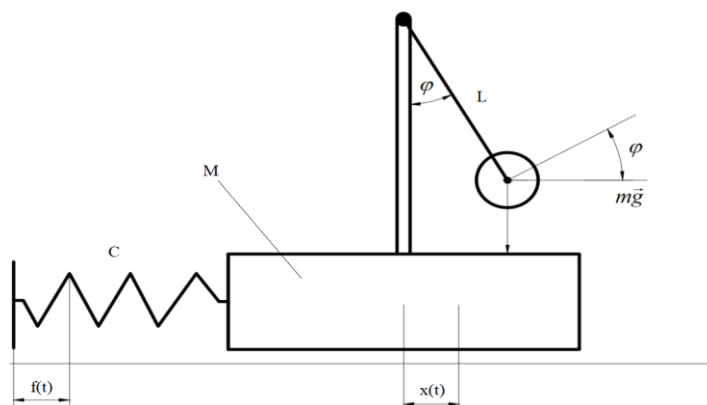


Рис.1 – Схема объекта

Управление движения объекта (Рис.1), составленное без учета сопротивления с использованием принципа Даламбера и принципа независимости действия сил, имеют вид:

$$\begin{aligned} (M + m) \frac{d^2 x}{dt^2} + mL \frac{d^2 \varphi}{dt^2} \cdot \cos \varphi + cx &= F(t), \\ ml^2 \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + mL \frac{d^2 x}{dt^2} \cdot \cos \varphi + mgL \sin \varphi &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где M, m – сосредоточенные массы; L – длина маятника; c – эквивалентный коэффициента жесткости; $F(t) = cf(t) = P \sin \omega t$ – приведенная возмущающая сила, приближенно отражающая волнение моря. С учетом малости перемещений ($\cos \varphi \approx 1$, $\sin \varphi \approx \varphi$) из системы (1) получено:

$$\begin{aligned} (M + m)\ddot{x} + mL\ddot{\varphi} + cx &= P \cos \omega t, \\ L\ddot{\varphi} + \ddot{x} + g\varphi &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

С учетом частных решений $x = A_1 \cos kt$ и $\varphi = A_2 \sin kt$ из однородной (при $F(t) = 0$) системы (2) следует система линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} [c - (M + m)k^2] A_1 - mLk^2 A_2 &= 0, \\ -k^2 A_1 + (g - Lk^2) A_2 &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

из которой уравнение для определения частот собственных колебаний:

$$k^4 - \left[\frac{c}{M} - \frac{g}{L} \frac{M + m}{M} \right] k^2 + \frac{c}{m} \frac{g}{L} = 0. \quad (4)$$

При $M = 250 \text{ кг}$, $m = 12 \text{ кг}$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$, $L = 0,94 \text{ м}$, $c = 100 \text{ н/м}$ из (4) частоты равны:

$$k_1 = 0,628 \text{ с}^{-1}, \quad k_2 = 2,251 \text{ с}^{-1}. \quad (5)$$

Частотам (5) соответствуют периоды собственных колебаний:

$$T_1 = 10 \text{ с}, \quad T_2 = 1,932 \text{ с}. \quad (6)$$

Однородная система (3) позволяет записать выражение для амплитудных коэффициентов:

$$\frac{A_1}{A_2} = \nu_1 = \frac{c - (M + m)k_1^2}{mLk_1^2}, \quad \frac{B_1}{B_2} = \nu_2 = \frac{c - (M + m)k_2^2}{mLk_2^2} \quad (7)$$

Общие решения системы линейных уравнений (2) записываются так

$$\begin{aligned} x(t) &= A_1 \sin(k_1 t + \alpha_1) + B_1 \sin(k_2 t + \alpha_2) + D_1 \sin \omega t, \\ \varphi(t) &= A_1 \nu_1 \sin(k_1 t + \alpha_1) + B_1 \nu_2 \sin(k_2 t + \alpha_2) + D_2 \sin \omega t. \end{aligned} \quad (8)$$

Для определения констант D_1 и D_2 в систему (2) подставлены частные решения: $x(t) = D_1 \sin \omega t$, $\varphi(t) = D_2 \sin \omega t$.

Решая систему алгебраических уравнений получим:

$$D_1 = \frac{P(L\omega^2 - g)}{\Delta}, \quad D_2 = \frac{P}{\Delta} \quad (9)$$

где $\Delta = (Mg - ML\omega^2 + mg - cg + cL\omega^2)\omega^2$.

Для определения $A_1, B_1, \alpha_1, \alpha_2$ из (8) с учетом выражений для скорости и нулевых начальных условий из системы трансцендентных уравнений

$$\begin{aligned} A_1 \sin \alpha_1 + B_1 \sin \alpha_2 &= 0, \\ k_1 A_1 \cos \alpha_1 + k_2 B_1 \cos \alpha_2 - \omega D_1 &= 0, \\ \nu_1 A_1 \sin \alpha_1 + \nu_2 B_1 \sin \alpha_2 &= 0, \\ k_1 \nu_1 A_1 \cos \alpha_1 + k_2 \nu_2 B_1 \cos \alpha_2 - \omega D_2 &= 0, \end{aligned} \quad (10)$$

при $P = 100 \text{ н}$ и $\omega = 0,628 \text{ с}^{-1}$, $\nu_1 = -0,75$, $\nu_2 = -22,38$ найдены константы:

$A_1 = 1,617 \text{ м}$, $B_1 = 0,057 \text{ м}$, $\alpha_1 = -7,85$, $\alpha_2 = -4,71$.

Графики $x(t)$ и $\varphi(t)$, характеризующие колебания объекта при $k = \omega_1 = 0,628 \text{ с}^{-1}$ изображены на **Рис.2**.

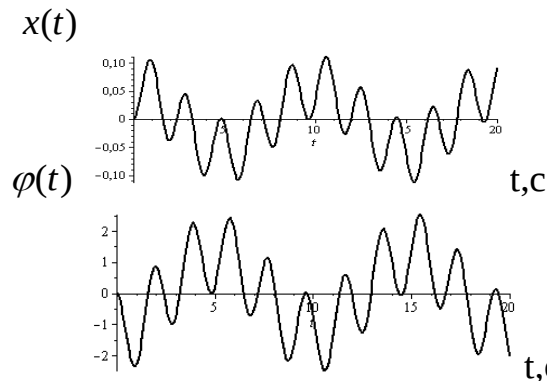


Рис.2 – Графики $x(t)$ и $\varphi(t)$

Рассмотренная упрощённая модель позволяет в первом приближении исследовать колебания объекта при варьировании в широких пределах его геометрических и физических параметров и модели динамического воздействия.

Заключение

1. Маятник может также играть роль динамического гасителя колебаний, т.е. подавлять колебание массы M , в связи с антирезонансом. Однако, это возможно если частота воздействия постоянна. Как известно, если же частота возмущения может меняться, то в этом случае используется гаситель с вязким трением (демпфирование).

2. В связи с существованием вертикальной составляющей воздействия не исключается возникновение параметрических колебаний маятника, и выявить области неустойчивости.

3. С целью уменьшения размеров маятника следует отдать предпочтение физическому маятнику.

4. Наиболее общая физико-математическая модель объекта предполагает увеличение степеней свободы, корректное задание воздействия и учет демпфирования.

Библиографический список

1. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г. Пановко – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
2. Бидернам В.П. Прикладная теория механических колебаний / В.П. Бидернам – М.: Высш. Школа, 1972. – 414 с.
3. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти Т., М.: Машиностроение. Т.1 Колебание линейных систем. / Под. ред. В.В. Болотина, 1978. – 352 с.
4. Светлицкий В.А. Сборник задач по теории колебаний / В.А. Светлицкий, И.В. Стаценко – М.: Высш. школа, 1973. – 454 с.
5. Мещерский И.В. Задачи по теоретической механике: Учебное пособие для вузов / И.В. Мещерский. – 38-е изд. стер. – СПб.: Лань, 2010. – 448 с.
6. Бохонский А.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, М.Н. Мозолевский – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 296 с.
7. Бохонский А.И. Вариационное и реверсионное исчисления в механике / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 212 с.
8. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности / А.И. Бохонский – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2016. – 174 с.
9. Бохонский А.И. Конструирование оптимальных управлений перемещением упругих объектов / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская – Издательство: НИЦ МС, 2020. – 120 с.

10. Бохонский А.И. Механика управляемого движения объектов: учебное пособие / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, Т.В. Мозолевская. – М.: ИНФРА-М, 2021. – 170 с.
11. Чебоксаров В.В. Сравнительный анализ эффективности двух схем маятниковых преобразователей энергии волн / В.В. Чебоксаров // Энергетические установки и технологии. – 2016. Т2. №1. – с. 68 – 75.

Bibliograficheskiy spisok

1. Panovko Ya.G. Osnovy prikladnoj teorii kolebanij i udara / Ya.G. Panovko – L.: Mashinostroenie, 1976. – 320 s.
2. Bidernam V.P. Prikladnaya teoriya mekhanicheskikh kolebanij / V.P. Bidernam – M.: Vyssh. SHkola, 1972. – 414 s.
3. Vibracii v tekhnike: Spravochnik. V 6-ti T., M.: Mashinostroenie. T.1 Kolebanie linejnyh sistem. / Pod. red. V.V. Bolotina, 1978. – 352 s.
4. Svetlickij V.A. Sbornik zadach po teorii kolebanij / V.A. Svetlickij, I.V. Stacenko – M.: Vyssh. shkola, 1973. – 454 s.
5. Meshcherskij I.V. Zadachi po teoreticheskoj mekhanike: Uchebnoe posobie dlya vuzov / I.V. Meshcherskij. – 38-e izd. ster. – SPb.: Lan', 2010. – 448 s.
6. Bohonskij A.I. Optimal'noe upravlenie perenosnym dvizheniem deformiruemykh ob"ektov: teoriya i tekhnicheskie prilozheniya / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya, M.N. Mozolevskij – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2007. – 296 s.
7. Bohonskij A.I. Variacionnoe i reversionnoe ischisleniya v mekhanike / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya. – Sevastopol': SevNTU, 2012. – 212 s.
8. Bohonskij A.I. Reversionnyj princip optimal'nosti / A.I. Bohonskij – M.: Vuzovskij учебник: INFRA-M, 2016. – 174 s.
9. Bohonski A.I. Konstruirovanie optimal'nyh upravlenij peremeshcheniem uprugih ob"ektov / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya – Izdatel'stvo: NIC MS, 2020. – 120 s.
10. Bohonskij A.I. Mekhanika upravlyaemogo dvizheniya ob"ektov: учебное пособие / A.I. Bohonskij, N.I. Varminskaya, T.V. Mozolevskaya. – M.: INFRA-M, 2021. – 170 s.
11. Chebokсарov V.V. Sravnitel'nyj analiz effektivnosti dvuh skhem mayatnikovyx preobrazovatelej energii voln / V.V. Chebokсарov // Energeticheskie ustanovki i tekhnologii. – 2016. T2. №1. – s. 68 – 75.

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

²*Майстришин Михаил Михайлович, к.т.н., доцент, mihail.maystrishin@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

³Чебоксаров Виктор Валерьевич, к.т.н., доцент, Россия, vchebox@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

SIMPLIFIED DYNAMIC MODEL OF A PENDULUM WAVE POWER PLANT

A.I. Bokhonsky, M.M. Maystrishin, V.V. Cheboksarov

A simplified dynamic model of a pendulum-type wave power plant with the possibility of using the resonance phenomenon to increase the amplitudes of the pendulum oscillations is proposed and investigated. The frequencies of natural vibrations of the installation are determined and the solution of the system of inhomogeneous differential equations describing the forced oscillations under wave influences is found.

Keywords: energy converter, equation of motion, oscillation frequencies, solution of equations, analysis of dynamic behavior.

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

Maystrishin Mikhail Mikhaylovich, candidate of technical science, docent, mihail.maystrishin@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

Cheboksarov Viktor Valeryevich, candidate of technical science, docent, vchebox@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

УДК 681.5

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ И СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕХЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

Шушляпин Е.А.¹, Безуглая А.Е.², Кутахин А.П.³

Аннотация. В работе рассмотрена задача аналитического расчета моментов инерции и сопротивления электропривода постоянного тока сочленений трехзвеного антропоморфного манипулятора, нелинейно зависящих от углов поворота и ротации кинематических пар. Приведены вывод и расчетные формулы для моментов, предназначенные для реализации в алгоритме управления на основе терминального двухэтапного метода конечного состояния.

Ключевые слова. Нелинейная система, метод конечного состояния, терминальное управление, электродвигатель постоянного тока, антропоморфный манипулятор.

1. Цель работы и постановка задачи. Целью данной работы является получение аналитических выражений для моментов инерции и сопротивления трехзвеного антропоморфного манипулятора (АМ) подводного робота. Указанные выражения нужны для управления манипулятором в случае использования в качестве приводов сочленений электродвигателей постоянного тока. Для расчета управлений типа обратных связей при этом может быть использован двухэтапный метод конечного состояния.

Внешний вид двурукого АМ с тремя вращающимися звеньями, имеющего шесть степеней свободы, показан на **Рис.1**.

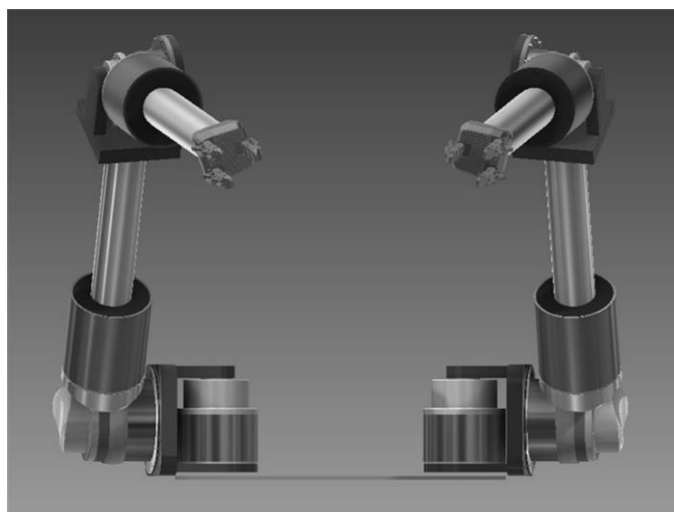


Рис.1 – Внешний вид рук АМ

Для приведения конечного эффектора АМ (в данном случае конца внешнего звена в заданную точку за заданное время) можно воспользоваться методом конечного состояния [1] в его двухэтапном варианте [2], ориентированного на нелинейные динамические модели. Следует отметить, что традиционно для решения данной задачи используются статические модели, построенные на основе преобразования Денавита-Хартенберга [3] и применения методов математического программирования. При этом вся последующая работа по приведению АМ к заданному положению возлагается на приводы сочленений (сервоприводы, шаговые двигатели и др.). Указанные виды приводов относительно дорогие или медленные, поэтому целесообразно изучить возможность применения в качестве приводов электродвигателей постоянного тока.

По этим причинам мы предлагаем альтернативный подход к определению углов поворота или ротации сочленений θ_i (поворот – относительно перпендикулярной оси звена, ротация – поворот относительно продольной его оси) разработанный для динамической модели антропоморфного робота – метод конечного состояния [1].

2. Учет динамики приводов сочленений. Получим управление при учете динамики приводов сочленений, когда модель АМ имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_i}{dt} &= \omega_i \\ \frac{d\omega_i}{dt} &= \frac{1}{J_i(\theta)} (M_{di} - M_{ci}), \quad i = 1, \dots, 6. \end{aligned} \quad (1)$$

В уравнениях (1) ω_i – угловая скорость ротора привода i – й кинематической пары; J_i – приведенный момент инерции для i – й пары; M_{di} и M_{ci} – соответственно моменты движущих сил и сопротивления i – й пары. В случае приводов, реализованных на электродвигателях постоянного тока с постоянным возбуждением, без учета быстрых процессов в его обмотках, можно принять для малых угловых скоростей:

$$\begin{aligned} M_{di} &= k_{di} U_{Ai}, \\ M_{ci} &= k_{ci} \omega_i + M_{gi}(\theta). \end{aligned} \quad (2)$$

В последних выражениях k_{di} , k_{ci} – параметры, зависящие от номера пары, конструкции двигателя и сопротивления внешней среды i – й пары. Составляющие момента сопротивления – от вязкого трения $k_{ci} \omega_i$ и от веса $M_{gi}(\theta)$ тех частей АМ, которые вращает данный электропривод.

При использовании упрощенной модели двигателя постоянного тока (ДПТ), учитывающей только динамику механических процессов, управляющие якорные напряжения вычисляются по формуле, полученной из (1, 2):

$$U_{Ai} = \frac{1}{k_{di}} \left(J_i(\theta) \frac{du_i}{dt} + k_{ci} u_i + M_{g_i}(\theta) \right), \quad (3)$$

где $u_i \equiv \omega_i$ – угловая скорость двигателей, $\frac{du_i}{dt} \equiv \frac{d\omega_i}{dt}$ – угловое ускорение звеньев манипулятора, которое может быть измерено. При этом неизвестные u_i рассчитываются по аналитическим выражениям [2].

Начальные условия θ_i^0 соответствуют начальному положению робота, t_0, t_f, t – обозначены начальное, конечное и текущее времена.

Определение момента инерции. Моменты инерции $J_i(\theta)$ и сопротивления $M_{g_i}(\theta)$ зависят от углов θ_i . Получим аналитические выражения для них в предположении, что каждое из звеньев манипулятора представляет собой тонкий стержень с массой m_i и длиной l_i .

Общая формула для расчета момента инерции тонкого стержня с осью вращения на одном из концов и длиной l имеет вид:

$$J = \int_0^l x^2 dm, \quad (4)$$

где x – расстояние от оси вращения до точки x , расположенной на стержне; dm – элементарная масса точки x . Для вычисления интеграла необходимо привести подынтегральное выражение к одной переменной x . Для этого воспользуемся очевидной пропорцией:

$$\frac{m}{l} = \frac{dm}{dx},$$

откуда следует

$$dm = \frac{m}{l} dx,$$

$$J = \frac{m}{l} \int_0^l x^2 dx = \frac{m}{l} \cdot \frac{x^3}{3} \Big|_0^l = \frac{ml^2}{3}.$$

Данный результат и способ вывода широко известны и здесь приводятся в качестве основы для вывода момента инерции для двухзвенного и трехзвенного механизмов, состоящих из сочленений тонких стержней.

Рассмотри теперь двухзвенный механизм, соединенных осью вращения и изображенный на **Рис.2**.

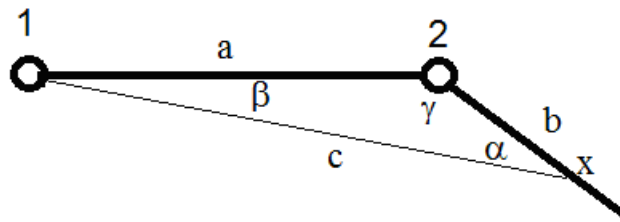


Рис.2 – Кинематическая схема двухзвенного механизма

Оси вращения 1, 2 соответствуют приводам, которые вращают звено *b* посредством привода 2 и звенья *a*, *b* (как единое целое) посредством привода 1 вокруг осей, перпендикулярных плоскости рисунка. Получим момент инерции двухзвенного механизма в предположении, что угол поворота γ зафиксирован. Это соответствует моменту инерции привода для оси 1. Далее длины звеньев *a*, *b* будем обозначать соответственно l_a, l_b , а для длины луча «с» оставим это же обозначение.

Поскольку момент инерции представляет собой сумму (в пределе интеграл) моментов инерции элементарных точек, момент инерции многозвенного механизма можно вычислять как сумму моментов инерции звеньев. Поэтому $J_{ab} = J_a + J_b$. Для звена «а», вращающегося вокруг оси 1, имеем:

$$J_{1a} = \frac{m_a(l_a)^2}{3}.$$

Для получения J_{1b} вновь воспользуемся пропорциями:

$$\frac{m_b}{l_b} = \frac{dm_b}{d\beta}, \quad \frac{\sin \gamma}{c} = \frac{\sin \beta}{x}, \quad \frac{\sin \gamma}{c} = \frac{\sin \alpha}{l_a}.$$

Для сторон «х» и «с» имеем выражения: $x = \frac{c \cdot \sin \beta}{\sin \gamma}$, $c = \frac{l_a \sin \gamma}{\sin \alpha}$

$$\text{Тогда } x = \frac{l_a \sin \gamma}{\sin \alpha} \cdot \frac{\sin \beta}{\sin \gamma} = \frac{l_a \sin \beta}{\sin \alpha} = \frac{l_a \sin \beta}{\sin(\pi - \beta - \gamma)},$$

$$dm_b = \frac{m_b}{l_b} d\beta,$$

$$J_{1b} = \int_0^{\beta_m} \left(\frac{l_a \sin \beta}{\sin(\pi - \beta - \gamma)} \right)^2 \frac{m_b}{l_b} d\beta.$$

Вынося постоянные члены, в итоге получаем:

$$J_{1b} = \frac{m_b(l_a)^2}{l_b} \int_0^{\beta m} \left(\frac{\sin \beta}{\sin(\pi - \beta - \gamma)} \right)^2 d\beta. \quad (5)$$

Определенный интеграл, входящий в последнее выражение, вычисляется аналитически, например, посредством MathCad. Получаемое при этом выражение весьма сложное, поэтому проще J_b вычислять численно. Предельный угол βm вычислим из пропорции $\frac{\sin \gamma}{cm} = \frac{\sin \beta m}{l_b}$ и

выражения $cm = \sqrt{(l_a)^2 + (l_b)^2 - 2(l_a)(l_b)\cos \gamma}$, т.е.:

$$\beta m = \arcsin \left(\frac{l_b \sin \gamma}{cm} \right) = \arcsin \left(\frac{l_b \sin \gamma}{\sqrt{(l_a)^2 + (l_b)^2 - 2(l_a)(l_b)\cos \gamma}} \right). \quad (6)$$

Для трехзвенного механизма, изображенного на рис. 3, также получим расчетное выражение.

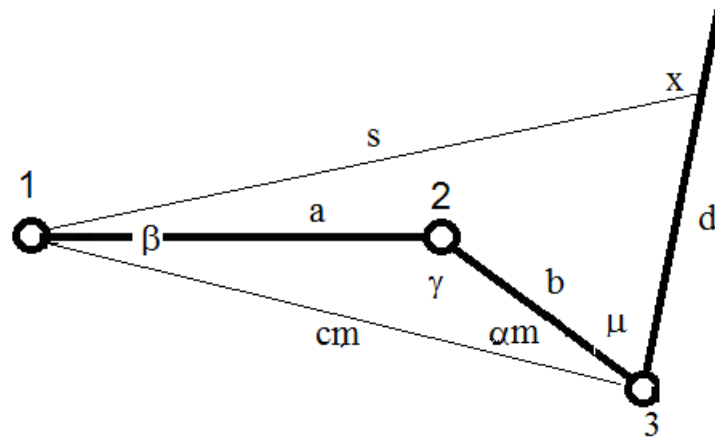


Рис.3 – Кинематическая схема трехзвенного механизма

При выводе соотношения (5) использовался треугольник «1-2-х», вместо которого в случае трехзвенного механизма используем треугольник «1-3-х». При этом используем формулы (5), (6), где вместо m_b подставим m_d , т.е. массу звена d; вместо l_a длину луча «1-3», равную cm ; вместо b подставим d ; угол β теперь между сторонами « cm » и « s »; вместо угла γ используем угол $\alpha m + \mu$, где $\alpha m = \pi - \gamma - \beta m$, βm вычисляются по выражению (6), γ, μ – известны; предельное значение для угла между лучами «1=3» и «1-х» βM определяется выражением:

$$\beta M = \arcsin \frac{l_d \sin(\alpha m + \mu)}{sm}, \quad (7)$$

$$sm = \sqrt{(l_d)^2 + cm^2 - l_d \cdot cm \cdot \cos(\alpha m + \mu)}.$$

В итоге для трехзвенного механизма имеем следующие формулы для расчета его момента инерции относительно точки 1:

$$\begin{aligned} J_1 &= J_{1a} + J_{1b} + J_{1d}, \\ J_{1a} &= \frac{m_a(l_a)^2}{3}, \\ J_{1b} &= \frac{m_b(l_a)^2}{l_b} \int_0^{\beta m} \left(\frac{\sin \beta}{\sin(\pi - \beta - \gamma)} \right)^2 d\beta, \\ J_{1d} &= \frac{m_d(cm)^2}{l_d} \int_0^{\beta M} \left(\frac{\sin \beta}{\sin(\pi - \beta - \alpha m - \mu)} \right)^2 d\beta. \end{aligned} \quad (8)$$

Момент инерции относительно точки 2 получается из приведенных выше формул с учетом двухзвенности:

$$\begin{aligned} J_2 &= J_{2b} + J_{2d}, \\ J_{2b} &= \frac{m_b(l_b)^2}{3}, \\ J_{2d} &= \frac{m_d(l_b)^2}{l_d} \int_0^{\beta m} \left(\frac{\sin \beta}{\sin(\pi - \beta - \mu)} \right)^2 d\beta, \\ \beta m &= \arcsin \left(\frac{l_b \sin \mu}{\sqrt{(l_b)^2 + (l_d)^2 - 2(l_b)(l_d)\cos \mu}} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

И, наконец, момент инерции привода в точке 3, который поворачивает только звено d, определяется выражением:

$$J_3 = J_d = \frac{m_d(l_d)^2}{3}. \quad (10)$$

Выражения (5 – 10) определяют внешние моменты инерции приводов, осуществляющих повороты звеньев относительно осей, перпендикулярных продольным осям симметрии звеньев-стержней. К этим моментам инерции необходимо добавить моменты инерции роторов приводов, а также моменты инерции от присоединенных масс воды при движении звеньев в воде (для подводного робота). Указанными моментами, можно пренебречь, если приводы достаточно быстродействующие, а стержни достаточно тонкие.

Для определения моментов инерции приводов, производящих ротацию звеньев (ротируемых), т.е. их поворота вокруг продольных осей,

используем формулу $J = \frac{mr^2}{2}$ для момента инерции цилиндра массы m и радиуса r .

Для двухзвенного механизма из звеньев а и b, у которого первое звено ротируется, а второе поворачивается вокруг перпендикулярной оси, момент инерции равен сумме $J_1 = J_{1a} + J_{1b}$, где $J_{1a} = \frac{m_a(r_a)^2}{2}$, а J_{1b} вычисляется по выражению (11). Если ротируется второе звено, то $J_1 = \frac{m_a(l_a)^2}{3} + \frac{m_b(r_b)^2}{2}$. Аналогично строятся формулы для других сочетаний ротируемых и поворотных звеньев.

Отметим, что при выводе соотношений на основе схемы **Рис.3**, не использовалась информация об угле поворота звена d относительно плоскости «1-2-3», что означает применимость соответствующих формул для произвольных пространственных конфигураций трехзвенного механизма.

Определение моментов сопротивления M_{gi} . Начнем с последнего звена массой m_d и длиной l_d , которое расположено под положительным углом θ_d к горизонтальной плоскости. Вначале предположим, что ось сочленения при этом находится в горизонтальной плоскости. Сила тяжести при этом направлена вертикально вниз. Разложим силу тяжести на составляющие, одна из которых направлена вдоль стержня, а вторая – перпендикулярно стержню вниз. Вторая составляющая и является в данном случае искомым моментом сопротивления. Предполагая однородность стержня и расположение центра массы m_d в точке $\frac{l_d}{2}$ для точки приложения силы тяжести, получаем выражение для момента в виде $m_d \cdot g \cdot \frac{l_d}{2} \cdot \cos \theta_d$. Далее рассмотрим случай, когда ось сочленения звена «d» находится под углом δ_d к горизонтальной плоскости. При этом по-прежнему сила тяжести направлена вниз, но под углом δ_d к первоначальному направлению силы тяжести, при этом одна из ее составляющих направлена вдоль стержня, а вторая составляющая повернется на угол δ_d . В итоге выражение для момента приобретает вид:

$$M_{gd} = m_d \cdot g \cdot \frac{l_d}{2} \cdot \cos \theta_d \cdot \sin \delta_d. \quad (11)$$

Для звеньев «a» и «b» имеем аналогичные выражения с учетом коррекции в части масс и центров масс:

$$\begin{aligned} M_{gb} &= (m_b + m_d) \cdot g \cdot \frac{(l_b + l_d)}{2} \cdot \cos \theta_b \cdot \sin \delta_b, \\ M_{ga} &= (m_a + m_b + m_d) \cdot g \cdot \frac{(l_a + l_b + l_d)}{2} \cdot \cos \theta_a \cdot \sin \delta_a. \end{aligned} \quad (12)$$

В выражениях (11, 12) g – ускорение силы тяжести; $l_i, m_i, i = a, b, d$ – длины и массы соответствующих звеньев; $\theta_i, \delta_i, i = a, b, d$ – углы поворота и ротации соответствующих звеньев.

Выводы. Аналитические выражения для моментов инерции и сопротивления, которые для многозвенных механизмов существенно зависят от углов поворота и ротации звеньев, позволяют использовать динамические модели АМ с использованием в качестве приводов, в общем случае, любые инерционные устройства (например, гидроприводы). При этом, естественно, должен применяться метод управления, позволяющий использовать указанные выражения в алгоритме управления. Одним из таких методов является терминальный двухэтапный метод конечного состояния. Применение данного метода позволяет решить задачу приведения конечного эффектора АМ в заданную точку (по евклидовым координатам и углам подхода) за заданное время с высокой точностью. Получаемые при этом управления (в частности, якорные напряжения (3) для электропривода постоянного тока) имеют вид выражений конечного типа (алгебраических и трансцендентных), использующих измерения текущих значений углов и угловых скоростей θ_i, ω_i и могут быть реализованы в современных контроллерах.

Библиографический список

1. Шушляпин Е.А. Управление нелинейными системами на основе прогноза конечного состояния неуправляемого движения / Е.А. Шушляпин – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 282с.
2. Балабанов А.Н. Управление манипулятором подводного робота / А.Н. Балабанов, А.Е. Безуглая, Е.А. Шушляпин // Труды СПИИРАН. – 2021 – №6 (2021). – С. 1307-1332.
3. Denavit J. A kinematic rotation for lower-pair mechanisms based on matrices / J. Denavit, R.S. Hartenberg // Transactions ASME Journal of Applied Mechanics. – 1995. – 23. – pp. 215 – 221.

Bibliograficheskiy spisok

1. Shushlyapin E.A. Upravlenie nelinejnymi sistemami na osnove prognoza konechnogo sostoyaniya neupravlyaemogo dvizheniya / E.A. Shushlyapin – Sevastopol': SevNTU, 2012. – 282 s.

2. Balabanov A.N. Upravlenie manipulyatorom podvodnogo robota / A.N. Balabanov, A.E. Bezuglaya, E.A. Shushlyapin // Trudy SPIIRAN. – 2021 – №6 (2021). – С. 1307-1332.
3. Denavit J. A kinematic rotation for lower-pair mechanisms based on matrices / J. Denavit, R.S. Hartenberg // Transactions ASME Journal of Applied Mechanics. – 1995. – 23. – pp. 215 – 221.

¹Шушляпин Евгений Андреевич, д.т.н., профессор, bu6@bk.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

²Безуглая Анна Евгеньевна, к.т.н., доцент, anna_bezuglaya@list.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

³Кутахин Александр Павлович, магистрант, just.cr4zy@yandex.ru, Севастополь, Севастопольский государственный университет.

ANALYTICAL CALCULATION OF MOMENTS OF INERTIA AND RESISTANCE OF A THREE-LINK MANIPULATOR

E.A. Shushlyapin, A.E. Bezuglaya, A.P. Kutahin

The paper considers the problem of analytical calculation of moments of inertia and resistance of a constant current electric drive of joints of a three-link anthropomorphic manipulator, which depend on the angles of rotation and rotation of kinematic pairs. Conclusions and calculation formulas for moments intended for implementation in the control algorithm based on the terminal two-stage finite state method are presented.

Keywords: a nonlinear system, the final state method, terminal management, a DC electric motor, an anthropomorphic manipulator.

Shushlyapin Evgeny Andreevich, doctor of technical Sciences, professor, bu6@bk.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Bezuglaya Anna Evgenievna, candidate of technical sciences, docent, anna_bezuglaya@list.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Kutahin Alexandr Pavlovich, master's student, just.cr4zy@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ С ВОЗВРАТОМ ПРОДУКЦИИ НА ПОВТОРНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОНТРОЛЯ, НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Балакин А.И.¹, Балакина Н.А.², Мирзоян Н.Ю.³

***Аннотация.** Рассмотрена структура автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание, предложена ее имитационная модель. Приведен листинг программы на языке GPSS и блок-схема одного из ее сегментов. Представлены результаты моделирования и проведен их анализ, показавший возможности увеличения производительности автоматизированной линии при использовании возврата продукции на повторное обслуживание.*

***Ключевые слова.** Автоматизированная линия, повторное обслуживание, имитационная модель, производительность.*

При проектировании различных производственных систем одна из наиболее важных задач – прогнозирование производительности и других технико-экономических показателей. Решение этих задач часто выполняют на основе моделирования работы производственных систем. Одним из видов таких систем являются гибкие автоматизированные линии (ГАЛ).

ГАЛ с возвратом продукции на повторное обслуживание могут использоваться в случаях, когда технологический процесс требует повторной обработки изделия после контроля либо при обнаружении брака в отдельных точках.

Структуры автоматизированных линий с различными связями приводятся в [1]. Построение моделей автоматизированных линий с возвратом продукции на повторное обслуживание рассмотрено в [2-11]. Однако остается ряд неисследованных вопросов, связанных с функционированием ГАЛ при возврате продукции только на отдельных ячейках и учете выполнения контрольных операций. Например, контроль оптических деталей при их изготовлении после операций шлифовки и полировки. В случае обнаружения брака, для таких деталей повторно выполняются операция шлифования или полировки, что позволяет получить на выходе годные детали.

Одним из методов прогнозирования работы производственных систем является имитационное моделирование [12].

Цель работы – анализ функционирования автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание по результатам контроля, на основе имитационного моделирования.

Рассмотрим ГАЛ с возвратом продукции на повторное обслуживание (ВППО), структурная схема которой изображена на **Рис.1**. Технологические ячейки, обозначенные ТЯ1, ТЯ2, ТЯ3, ТЯ4, являются основными ячейками для производства продукции. Н2, Н3, Н4 – накопители, расположенные между технологическими ячейками. КСУ, КСУ2 – контрольно-сортировочные устройства, предназначенные для контроля соответствия продукции на выходе основных ячеек и передачи продукции для повторного обслуживания или на следующую технологическую операцию.

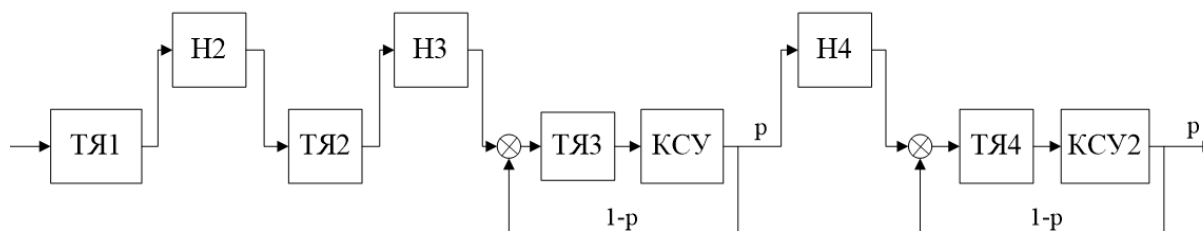


Рис.1 – Структурная схема ГАЛ с возвратом продукции на повторное обслуживание

Задача ставится следующим образом: по известным функциям распределения времени обслуживания продукции на технологических ячейках ТЯ1, ТЯ2, ТЯ3, ТЯ4 и контрольно-сортировочных устройств КСУ, КСУ2 необходимо определить производительность ГАЛ с ВППО. Известно, что вероятность брака на выходе соответствующих технологических ячеек равна $(1 - p)$, где p – вероятность получения на выходе этих ячеек годной продукции. При моделировании также учитывались показатели надежности основного оборудования, накопителей и контрольно-сортировочных устройств. При моделировании ГАЛ с ВППО предполагается следующее: времена обслуживания ТЯ и КСУ задаются средними значениями, параметры потоков отказов и восстановлений распределены по экспоненциальному закону.

При построении имитационной модели (ИМ) приняты следующие допущения.

1. Продукция непрерывно подается на вход линии, а с выхода постоянно убирается.

2. Продукция, поступающая по обратной связи, имеет приоритет.

ИМ ГАЛ объединяет следующие типы сегментов:

1) сегмент 1, описывающий обслуживание продукции при ее прохождении по линии в соответствии с технологическим процессом;

2) сегменты 2, 3, 4, 5 описывающий процесс отказов и восстановлений ТЯ;

3) сегмент 6, 7, 8 описывающий процесс отказов и восстановлений накопителей;

4) сегмент 9,10 описывающий процесс отказов и восстановлений КСУ.

Блок-диаграмма GPSS первого сегмента показана на **Рис.2**.

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

```

*****
; Модель ГАЛ: 4 ГПМ и 3 накопителя с КСА. Единица времени 1 час
*****
; Параметры отказов и восстановлений технологического оборудования
*****
t_otk_o EQU 0.5 ; среднее время наработки на отказ (распределение
экспоненциальное) основного оборудования
t_vost_o EQU 2 ; среднее время восстановления основного оборудования
t_ot_k EQU 0.05 ; среднее время наработки на отказ (распределение
экспоненциальное) контрольного оборудования
t_vost_k EQU 5 ; среднее время восстановления контрольного оборудования
*****
STOR1 STORAGE 30 ; ёмкость накопителя 2
STOR2 STORAGE 30 ; ёмкость накопителя 3
STOR3 STORAGE 30 ; ёмкость накопителя 4

ngen EQU 2 ; номер генератора
t_ob EQU 3/60 ; время обслуживания ТЯ
ver_br EQU 0.1 ; вероятность брака на устройствах
t_iz EQU 0.5/60 ; время измерения
*****
* Model Segment 1
*****
GENERATE ,,,1
Lab1 GATE NU REFASC1 ; проверка исправности ГПМ1
SEIZE ASC1 ; занять ГПМ1
ADVANCE t_ob ; обслуживание заявки
GATE NU REFNAK2 ; проверка исправности накопителя 2
GATE SNF STOR1 ; проверка заполненности накопителя 2
RELEASE ASC1 ; освободить ГПМ1
SPLIT 1,Lab1
ENTER STOR1 ; занять накопитель 2
GATE NU REFASC2 ; проверка исправности ГПМ2
GATE NU ASC2 ; проверка незанятости ГПМ2
GATE NU REFNAK2 ; проверка исправности накопителя 2
LEAVE STOR1 ; освободить накопитель 2
SEIZE ASC2 ; занять ГПМ2
ADVANCE t_ob ; обслуживание заявки
GATE NU REFNAK3 ; проверка исправности накопителя 3
GATE SNF STOR2 ; проверка заполненности накопителя 3
RELEASE ASC2 ; освободить ГПМ2
ENTER STOR2 ; занять накопитель 3

```

Анализ функционирования автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание по результатам контроля, на основе имитационного моделирования

```

GATE NU    REFASC3      ; проверка исправности ГПМ3
GATE NU    ASC3         ; проверка незанятости ГПМ3
GATE NU    REFNAK3      ; проверка исправности накопителя 3
LEAVE      STOR2        ; освободить накопитель 3
SEIZE      ASC3         ; занять ГПМ3
Brak3      ADVANCE      t_ob      ; обслуживание заявки
GATE NU    REFKSA       ; проверка исправности КСА
SEIZE      KSA          ; занять КСА
ADVANCE    0.0167       ; обслуживание заявки на КСА
GATE NU    REFASC3      ; проверка исправности ГПМ3
RELEASE    KSA          ; освобождение КСА
TRANSFER   ver_br,,Brak3
GATE NU    REFNAK4      ; проверка исправности накопителя 4
GATE SNF   STOR3        ; проверка заполненности накопителя 4
RELEASE    ASC3         ; освобождение ГПМ3
ENTER      STOR3        ; занять накопитель 4
GATE NU    REFASC4      ; проверка исправности ГПМ4
GATE NU    ASC4         ; проверка незанятости ГПМ4
GATE NU    REFNAK4      ; проверка исправности накопителя 4
LEAVE      STOR3        ; освободить накопитель 4
Brak4      SEIZE        ASC4      ; занять ГПМ4
ADVANCE    t_ob         ; обслуживание заявки (полировка)
GATE NU    REFKSA2      ; проверка исправности КСА2
SEIZE      KSA2         ; занять КСА2
ADVANCE    0.0167       ; обслуживание заявки на КСА2
GATE NU    REFASC4      ; проверка исправности ГПМ4
RELEASE    KSA2         ; освобождение КСА2
TRANSFER   ver_br,,Brak4
RELEASE    ASC4         ; освобождение ГПМ4
SAVEVALUE  ALLPART+,1   ; счётчик заявок
SAVEVALUE  pwline,(10000/AC1)
TERMINATE  1

START 10000
*****
*           Model Segment 2
* Пребывание устройства ASC1 в отказе. Занятие заявкой
* устройства REFASC1 означает, что устройство отказало.
* Время обслуживания заявки есть время восстановления ASC1.
*****
GENERATE    (Exponential(ngen,0,1/t_otk_o))
SEIZE      REFASC1
ADVANCE    (Exponential(ngen,0,1/t_vost_o))
RELEASE    REFASC1
SAVEVALUE  COUNT1+,1      ; счётчик количества отказов ГПМ1
TERMINATE

*****
*           Model Segment 3
*****
GENERATE    (Exponential(ngen,0,1/t_otk_o))
SEIZE      REFASC2
ADVANCE    (Exponential(ngen,0,1/t_vost_o))
RELEASE    REFASC2
SAVEVALUE  COUNT2+,1      ; счётчик количества отказов ГПМ2
TERMINATE

*****
*           Model Segment 4
*****
GENERATE    (Exponential(ngen,0,1/t_otk_o))
SEIZE      REFASC3
ADVANCE    (Exponential(ngen,0,1/t_vost_o))
RELEASE    REFASC3

```

```

        SAVEVALUE COUNT3+,1          ; счётчик количества отказов ГПМ3
        TERMINATE
*****
*      Model Segment 5
*****
        GENERATE (Exponential(ngen,0,1/t_otk_o))
        SEIZE    REFASC4
        ADVANCE  (Exponential(ngen,0,1/t_vost_o))
        RELEASE  REFASC4
        SAVEVALUE COUNT4+,1          ; счётчик количества отказов ГПМ4
        TERMINATE
*****
*      Model Segment 6
*****
        GENERATE (Exponential(ngen,0,1/0.02))
        SEIZE    REFNAK2
        ADVANCE  (Exponential(ngen,0,1/20))
        RELEASE  REFNAK2
        SAVEVALUE COUNT5+,1 ; счётчик количества отказов накопителя 2
        TERMINATE
*****
*      Model Segment 7
*****
        GENERATE (Exponential(ngen,0,1/0.02))
        SEIZE    REFNAK3
        ADVANCE  (Exponential(ngen,0,1/20))
        RELEASE  REFNAK3
        SAVEVALUE COUNT6+,1 ; счётчик количества отказов накопителя 3
        TERMINATE
*****
*      Model Segment 8
*****
        GENERATE (Exponential(ngen,0,1/0.02))
        SEIZE    REFNAK4
        ADVANCE  (Exponential(ngen,0,1/20))
        RELEASE  REFNAK4
        SAVEVALUE COUNT7+,1 ; счётчик количества отказов накопителя 4
        TERMINATE
*****
*      Model Segment 9
*****
        GENERATE (Exponential(ngen,0,1/t_ot_k))
        SEIZE    REFKSA
        ADVANCE  (Exponential(ngen,0,1/t_vost_k))
        RELEASE  REFKSA
        SAVEVALUE COUNT8+,1          ; счётчик количества отказов КСА
        TERMINATE
*****
*      Model Segment 10
*****
        GENERATE (Exponential(ngen,0,1/t_ot_k))
        SEIZE    REFKSA2
        ADVANCE  (Exponential(ngen,0,1/t_vost_k))
        RELEASE  REFKSA2
        SAVEVALUE COUNT9+,1          ; счётчик количества отказов КСА2
        TERMINATE

```

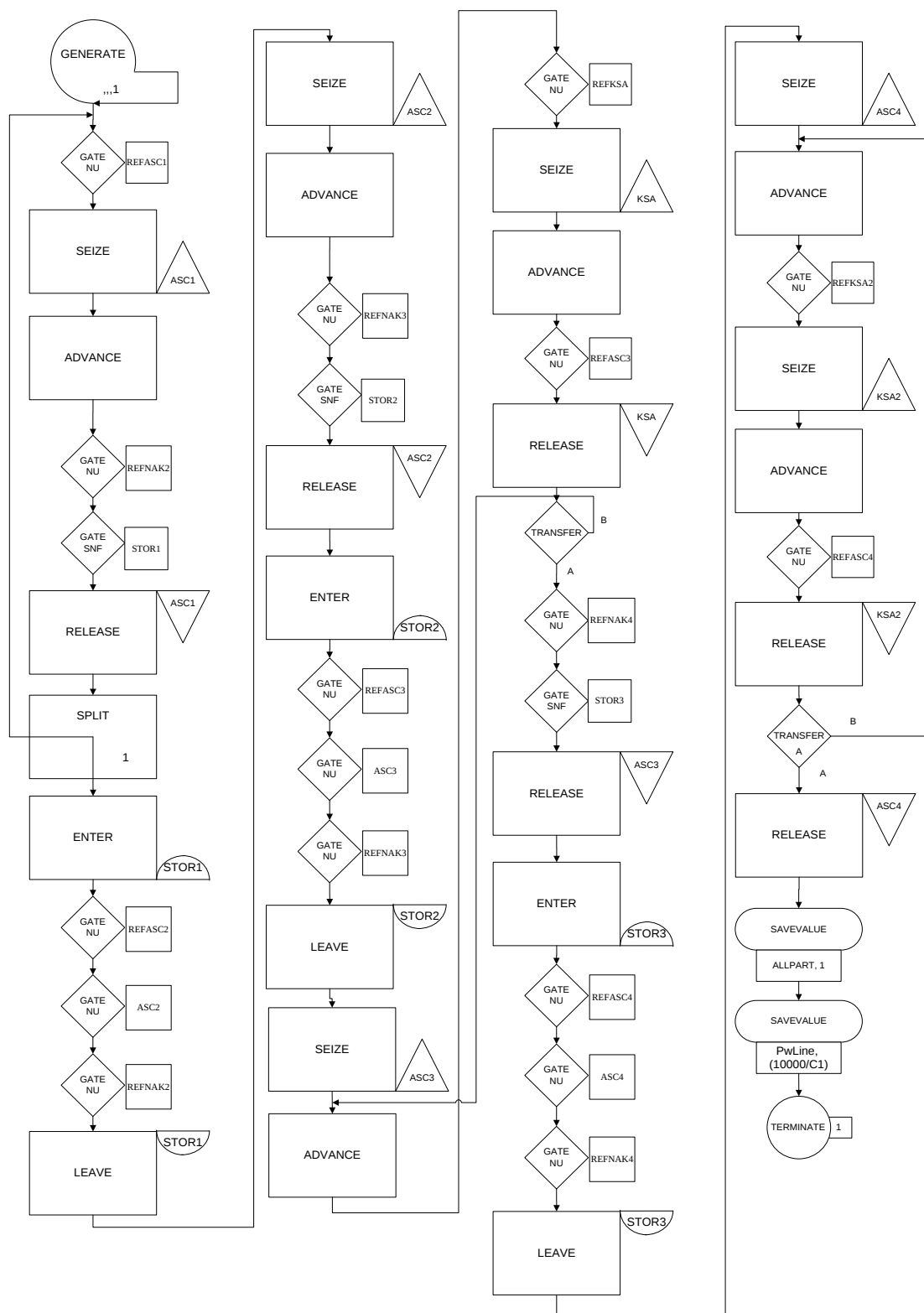


Рис.2 – Блок-схема сегмента 1

Каждой единице продукции, поступающей на вход ГАЛ с ВППО, соответствует транзакт. Источник единиц обслуживаемой продукции моделируется блоком GENERATE. Каждая ячейка и контрольно-сортировочное устройство моделируется таким объектом языка GPSS, как “устройство” (блок SIEZE и блок RELEASE), причем ячейки ТЯ_i в имитационной модели обозначены ASC_i, накопители NAK_i, а КСУ_i – KSA_i. Задержка транзакта на время, равное времени обслуживания, имитируется блоками ADVANCE.

Накопители моделируются таким объектом, как “память” (блок ENTER имитирует поступление транзактов в накопитель, а блок LEAVE – освобождение ячейки памяти), причем накопитель Н_i имеют имена STOR_i. В модели предполагается проверка возможности продвижения транзакта перед каждым входом в блоки SIEZE, RELEASE, ENTER, LEAVE.

Вход в блок SIEZE возможен, если *i*-е устройство свободно, исправно и предыдущем накопителе есть транзакты. Освобождение *i*-го устройства (RELEASE) возможно, если оно работоспособно и следующий накопитель не полон. Вход в блок ENTER возможен, если *i*-й накопитель не полон и *i* – 1-я ТЯ работоспособна. Освобождение *i*-го накопителя возможно при наличии в нем транзактов, когда ячейка *i*+1 исправна и свободна.

Все логические условия (занятость накопителей, технологических устройств и состояния ключей) проверяются при помощи блоков GATE.

Для организации повторного обслуживания в случае обнаружения брака используется блок TRANSFER, который позволяет передавать транзакт с определенной вероятностью в другой блок модели.

Сегмент 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Здесь моделируются потоки отказов ячеек, накопителей и контрольно-сортировочных устройств. Каждому отказу оборудования соответствует в модели транзакт. Устройства, имитирующие отказы всех единиц оборудования, работают параллельно. Транзакт поступает на вход “фиктивного” устройства, имитирующего отказавшее устройство, в соответствии с заданным законом и параметрами генерации (указанный закон соответствует функции распределения времени наработки на отказ соответствующего устройства с требуемыми параметрами). Восстановление оборудования моделируется задержкой транзакта на отрезок времени, длительность которого описывается требуемым законом распределения с заданными параметрами.

Для оценки производительности ГАЛ с ВППО проводился многофакторный машинный эксперимент [13]. В качестве факторов принимаются: математическое ожидание времени обслуживания ТЯ (x_1), математическое ожидание времени измерения КСУ (x_2), вероятность получения годных изделий на выходе ТЯ (x_3), среднее время наработки на

отказ основного оборудования ТЯ (x4), среднее время восстановления основного оборудования ТЯ (x5), среднее время наработки на отказ контрольного оборудования (x6), среднее время восстановления контрольного оборудования (x7).

На выходе модели определялась производительность ГАЛ с ВППО $y=f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7)$. Уровни варьирования факторов выбирались следующие: $\tilde{x}_1 = [3; 3; 5; 10]$ мин. $\tilde{x}_2 = [0,2; 0,5; 1]$ мин. $\tilde{x}_3 = [0,9; 0,95; 0,97]$, $\tilde{x}_4 = [2; 10; 20]$ ч., $\tilde{x}_5 = [1; 0,5; 0,25]$ ч., $\tilde{x}_6 = [20; 10; 2]$ ч., $\tilde{x}_7 = [0,5; 0,2; 0,1]$ ч.

Каждый эксперимент повторялся $n=10$ раз (в GPSS было задействовано соответствующее количество генераторов случайных чисел), поэтому для каждой точки факторного пространства были получены 10 значений отклика y .

После проведения машинного эксперимента производилась оценка среднего значения функции отклика по методике, приведенной в [14].

Итоговые результаты оценки имитационных экспериментов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты имитационных исследований ГАЛ с ВППО

№ точки факторного пространства	Производительность, шт/ч (математическое ожидание)		%
	ГАЛ с ВППО	ГАЛ без ВППО	
1	17,632	16,597	6,236
2	18,171	16,597	9,483
3	18,170	16,597	9,477
4	17,548	17,212	1,952
5	18,014	17,212	4,659
6	18,170	17,212	5,565
7	17,893	17,145	4,362
8	18,458	17,145	7,658
9	18,673	17,145	8,912
10	9,702	9,502	2,104
11	10,132	9,502	6,630
12	10,323	9,502	8,640
13	9,407	9,011	4,394
14	9,730	9,011	7,979
15	9,827	9,011	9,055
16	10,244	9,400	8,978
17	10,052	9,400	6,936
18	9,696	9,400	3,148
19	7,146	6,569	8,783
20	7,007	6,569	6,667

21	6,668	6,569	1,507
22	6,714	6,470	3,771
23	7,000	6,470	8,191
24	7,069	6,470	9,258
25	6,814	6,248	9,058
26	6,754	6,248	8,098
27	6,503	6,248	4,081
28	3,736	3,578	4,415
29	3,880	3,578	8,440
30	3,909	3,578	9,250
31	3,992	3,647	9,487
32	3,921	3,647	7,513
33	3,750	3,647	2,824
34	3,795	3,684	3,013
35	3,966	3,684	7,654
36	4,018	3,684	9,066
37	3,195	2,893	10,438
38	3,171	2,915	8,782
39	3,344	3,039	10,036
40	3,443	3,157	9,059
41	3,302	3,035	8,797
42	8,035	7,467	7,606
43	8,765	8,155	7,480
44	9,088	8,562	6,143
45	8,871	8,298	6,905
46	9,088	8,562	6,143
47	9,177	8,730	5,120
48	9,111	8,590	6,065
49	8,275	7,784	6,307
50	8,393	7,841	7,039
51	9,186	8,683	5,792
52	9,042	8,464	6,828

Результаты исследований показывают, что использование возврата продукции на повторное обслуживание в ГАЛ позволяет повысить количество годных изделий на выходе в зависимости от предполагаемого брака на 1,5 ... 10,44 %. Таким образом, применение таких систем в промышленности позволит повысить их фактическую производительность (т.е. количество годных изделий), несмотря на некоторое увеличение времени технологического процесса, связанного с наличием контрольных операций и повторного обслуживания бракованных деталей.

Библиографический список

1. Меткин Н.П. Технологическая подготовка гибких автоматизированных сборочно-монтажных производств в машиностроении / Н.П. Меткин, М.С. Лапин, В.И. Гольц – Л.: Машиностроение. 1986 – 192 с.
2. Копп В.Я. Использование итерационного подхода при построении математических моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями / В.Я. Копп, А.И. Балакин // «Оптимизация производственных процессов» Сб.научн.тр Севастополь. – 2004. – Вып.7. – С. 3–9.
3. Копп В.Я. Итерационный подход при построении математических моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями, включающими ячейки для исправления брака / В.Я. Копп, А.И. Балакин // Вестник СевГТУ, Сер. Автоматизация процессов и управление. – 2005. – №63. – С. 21–28.
4. Балакин А.И. Анализ функционирования автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание, на основе имитационного моделирования / А.И. Балакин, В.Я. Копп, Н.А. Балакина // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. – 2018. – № 2(2). – С. 34-41.
5. Балакин А.И. Имитационное моделирование автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание с исправлением брака на специальных технологических ячейках / А.И. Балакин, В.Я. Копп, Н.А. Балакина // Автоматизация и измерения в машино- приборостроении. – 2019. – № 4(8). – С. 72-80.
6. Балакин А. И. Анализ функционирования производственного модуля с возвратом продукции на повторное обслуживание, на основе имитационного моделирования / А.И. Балакин, Н.А. Балакина, Н.А. Волошина // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. – 2021. – № 1(13). – С. 62-70.
7. Балакин А.И. Аналитическое и имитационное моделирование асинхронной автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание / А.И. Балакин, В.Я. Копп, Г.Г. Макухина // Технологические комплексы, Изд-во Луцкого национального технического университета. – 2011. – №1(3). – С. 32–36.
8. Балакин А.И. Построение полумарковской модели автоматизированного участка с возвратом продукции / В.Я. Копп, О.В. Филипович, А.М. Кукушкин // Системні технології. Изд-во Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 5(64). – С. 101–111.

9. Копп В.Я. Итерационный подход при построении полумарковских моделей автоматизированного участка с обратной связью / В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Балакин // Вестник СевГТУ, Автоматизация процессов и управление. – 2003. – Вып. 49. – С. 142–147.
10. Копп В.Я. Модель гибкой синхронной линии с рефлекторным управлением и обратными связями / В.Я. Копп, Л.Е. Карташов, А.И. Балакин // Оптимизация производственных процессов: Сб.науч.тр. – 2009. – Вып.11. – С. 141–145.
11. Копп В.Я. Построение марковских моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями / В.Я. Копп, А.И. Балакин, О.В. Филипович, Н.В. Серова // Вестник Тольяттинского государственного университета. Сб.тр. Всероссийской научн.-техн. конф. с международным участием «Со-временные тенденции развития автомобилестроения в яроссии», 26-28 мая 2004г. – Том 3. – С. 166–170.
12. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS: Пер. с англ. / Т.Дж. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
13. Кринецкий И.И. Основы научных исследований: Учебное пособие для вузов / И.И. Кринецкий – Киев. – Одесса: Вища школа, Головное изд-во, 1981. – 208 с.
14. Митропольский А.К. Статистическое исчисление / А.К. Митропольский. – Ленинград, 1953. – т. 3. – 200 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Metkin N.P. Tekhnologicheskaya podgotovka gibkih avtomatizirovannyh sborochno-montazhnyh proizvodstv v mashinostroenii / N.P. Metkin, M.S. Lapin, V.I. Gol'c – L.: Mashinostroenie. 1986 – 192 s.
2. Kopp V.Ya. Ispol'zovanie iteracionnogo podhoda pri postroenii matematicheskikh modelej asinhronnyh avtomatizirovannyh linij s obratnymi svyazyami / V.Ya. Kopp, A.I. Balakin // «Optimizaciya proizvodstvennyh processov» Sb.nauchn.tr Sevastopol'. – 2004. – Vyp.7. – S. 3–9.
3. Kopp V.Ya. Iteracionnyj podhod pri postroenii matematicheskikh modelej asinhronnyh avtomatizirovannyh linij s obratnymi svyazyami, vkluchayushchimi yachejki dlya ispravleniya braka / V.Ya. Kopp, A.I. Balakin // Vestnik SevGTU, Ser. Avtomatizaciya processov i upravlenie. – 2005. – №63. – С. 21–28.
4. Balakin A.I. Analiz funkcionirovaniya avtomatizirovannoj linii s vozvratom produkcii na povtornoe obsluzhivanie, na osnove imitacionnogo modelirovaniya / A.I. Balakin, V.Ya. Kopp, N.A. Balakina // Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii. – 2018. – № 2(2). – S. 34–41.
5. Balakin A.I. Imitacionnoe modelirovanie avtomatizirovannoj linii s vozvratom produkcii na povtornoe obsluzhivanie s ispravleniem braka na special'nyh

- tehnologicheskikh yachejkah / A.I. Balakin, V.Ya. Kopp, N.A. Balakina // Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii. – 2019. – № 4(8). – S. 72-80.
6. Balakin A. I. Analiz funkcionirovaniya proizvodstvennogo modulya s vozvratom produkci na povtornoe obsluzhivanie, na osnove imitacionnogo modelirovaniya / A.I. Balakin, N.A. Balakina, N.A. Voloshina // Avtomatizaciya i izmereniya v mashino- priborostroenii. – 2021. – № 1(13). – S. 62-70.
7. Balakin A.I. Analiticheskoe i imitacionnoe modelirovanie asinhronnoj avtomatizirovannoj linii s vozvratom produkci na povtornoe obsluzhivanie / A.I. Balakin, V.Ya. Kopp, G.G. Makuhina // Tekhnologicheskie komplekсы, Izd-vo Luckogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta. – 2011. – №1(3). – S. 32–36.
8. Balakin A.I. Postroenie polumarkovskoj modeli avtomatizirovannogo uchastka s vozvratom produkci / V.Ya. Kopp, O.V. Filipovich, A.M. Kukushkin //Sistemni tekhnologii. Izd-vo Nacional'noi metalurgijnoi akademii Ukraïni. – Dnipropetrovs'k, 2009. – Vip. 5(64). – S. 101–111.
9. Kopp V.Ya. Iteracionnyj podhod pri postroenii polumarkovskih modelej avtomatizirovannogo uchastka s obratnoj svyaz'yu / V.Ya. Kopp, Yu.E. Obzherin, A.I. Balakin // Vestnik SevGTU, Avtomatizaciya processov i upravlenie. – 2003. – Vyp. 49. – S. 142–147.
10. Kopp V.Ya. Model' gibkoj sinhronnoj linii s reflektornym upravleniem i obratnymi svyaz'yu / V.Ya. Kopp, L.E. Kartashov, A.I. Balakin // Optimizaciya proizvodstvennyh processov: Sb.nauch.tr. – 2009. – Vyp.11. – S. 141–145.
11. Kopp V.Ya. Postroenie markovskih modelej asinhronnyh avtomatizirovannyh linii s obratnymi svyaz'yu / V.Ya. Kopp, A.I. Balakin, O.V. Filipovich, N.V. Serova // Vestnik Tol'yattinskogo gosudarstvennogo universiteta. Sb.tr. Vserossijskoj nauchn.-tekhn. konf. s mezhdunarodnym uchastiem «So-vremennye tendencii razvitiya avtomobilestroeniya v yarossii», 26-28 maya 2004g. – Tom 3. – S. 166–170.
12. Shrajber T.Dzh. Modelirovanie na GPSS: Per. s angl. / T.Dzh. Shrajber. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 592 s.
13. Krineckij I.I. Osnovy nauchnyh issledovaniy: Uchebnoe posobie dlya vuzov / I.I. Krineckij – Kiev. – Odessa: Vishcha shkola, Golovnoe izd-vo, 1981. – 208 s.
14. Mitropol'skij A.K. Statisticheskoe ischislenie / A.K. Mitropol'skij. – Leningrad, 1953. – t. 3. – 200 s.

¹Балакин Алексей Игоревич, к.т.н., доцент, AIBalakin@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

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

³Мирзоян Наталья Юрьевна, аспирант, младший научный сотрудник, nataly2997@mail.ru, Россия, Севастопольский государственный университет

ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF AN AUTOMATED LINE
WITH THE RETURN OF PRODUCTS FOR RE-SERVICE ACCORDING TO
THE RESULTS OF CONTROL, BASED ON SIMULATION MODELING

A.I. Balakin, N.A. Balakina, N.Yu. Mirzoyan

The structure of an automated line with the return of products for re-service is considered, its simulation model is proposed. Program listing in GPSS and a block diagram of its segments are given. The results of modeling are presented and their analysis is carried out, which showed the possibilities of increasing the productivity of an automated line when using the return of products for repeated maintenance.

Keywords: automated line, repeated maintenance, simulation model, productivity.

Balakin Alexey Igorevich, candidate of technical sciences, docent, AIBalakin@sevsu.ru, Russia, Sevastopol State University

Balakina Natalia Anatolievna, senior lecturer, NABalakina@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Mirzoyan Natalia Yurievna, graduate student, junior researcher, nataly2997@mail.ru, Russia, Sevastopol State University

АППРОКСИМАЦИЯ ФУНКЦИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ РАЗНОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН ФУНКЦИЕЙ ОСТАТОЧНОГО ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ СИСТЕМЫ

Копп В.Я.¹, Чаленков Н.И.², Заморёнов М.В.³

Аннотация. Рассматривается аппроксимация последовательной разности случайных величин функцией распределения остаточного времени наработки системы. Сравниваются результаты моделирования последовательной разности случайных величин с аппроксимирующей функцией.

Ключевые слова. Функция распределения, аппроксимация, разность случайных величин.

Математический аппарат полумарковских процессов является мощным средством моделирования стохастических систем. Удобству его применения способствует алгоритм фазового укрупнения, подробно формализованный в работах академика Королюка В.С. [1–3]. Одним из важнейших и наиболее сложных его этапов является определение стационарного распределения вложенной цепи Маркова (ВЦМ), что не всегда является разрешимой задачей. Анализ литературы показывает, что в ряде случаев определение стационарного распределения ВЦМ приводит к необходимости решать системы интегральных уравнений, содержащих функции от сумм и разностей переменных, а общих методов решения таких задач в общем виде не существует. Имеются отдельные частные решения для некоторых конкретных задач [4–7]. Сказанное значительно затрудняет использование аппарата ПМ процесса.

В данной работе рассматривается вопрос аппроксимации последовательной разности случайных величин функцией распределения остаточного времени наработки системы.

В ряде случаев для осуществления фазового укрупнения полумарковских систем используется формула, предложенная Королюком В.С. для определения ФР СВ γ , являющейся разностью СВ α и β при условии, что $\alpha > \beta$. В литературе она обозначается $[\alpha - \beta]^+$, а выражение для ее ФР имеет вид:

$$F_{[\alpha-\beta]^+}(t) = \frac{\int_0^\infty [F_1(t+y) - F_1(y)] f_2(y) dy}{\int_0^\infty \bar{F}_1(t) f_2(t) dt}, \quad (1)$$

где $F_1(t)$ – ФР СВ α , а $F_2(t)$ и $f_2(t)$ – функция и плотность распределения СВ β .

Формула (1) пригодна для случая, когда рассматриваются просто СВ α и β с ФР $F_1(t)$ и $F_2(t)$, имеющими плотности распределения (ПР) $f_1(t)$ и $f_2(t)$.

Она представляет собой смесь. В этой формуле выражение

$$\frac{[F_1(t+y) - F_1(y)]}{\int_0^\infty \bar{F}_1(t) f_2(t) dt}$$

представляет собой зависящее от действительного параметра $y > 0$ семейство функций распределения, а $F_2(y)$ – весовую функцию. Примем:

$$F_2(y) = 1_x(y) = \begin{cases} 1, & y > x; \\ 0, & y \leq x. \end{cases}$$

При этом $f_2(y) = \delta(y - x)$, где $\delta(y - x)$ – дельта функция.

Подставив последнее выражение в (1) получим:

$$\frac{\int_0^\infty F_1(t+y) \delta(y-x) dy - \int_0^\infty F_1(y) \delta_2(y-x) dy}{\int_0^\infty \bar{F}_1(y) \delta(y-x) dy} \approx \frac{F_1(t+x) - F_1(x)}{\bar{F}_1(x)}. \quad (2)$$

Отметим, что правая часть выражения (2) совпадает с выражением для функции распределения разности $\alpha - x_\theta$, где x_θ константа, для которой выполняется условие $x_\theta < t$. Указанное выражение иногда называют “время вперед”.

В целом, можно утверждать, что в соответствии с методом подобным методу моментов точность возрастает с добавлением числа моментов и при числе $n \rightarrow \infty$ достигается равенство функций.

Поэтому предлагается следующая лемма, позволяющая повысить точность аппроксимации. Предлагается в формуле (1) $f_2(y)$ заменять ступенчатой функцией, содержащей n скачков.

$$f_2(y) = k_1 \delta(y - x_1) + k_2 \delta(y - x_2) + \dots + k_n \delta(y - x_n),$$

получим:

$$F_{[\alpha-\beta]^+}(t, x) = \frac{\int_0^\infty F_1(t+y) \sum_1^{n=\infty} k_n \delta(y-x_n) dy - \int_0^\infty F_1(y) \sum_1^{n=\infty} k_n \delta(y-x_n) dy}{\int_0^\infty \bar{F}_1(y) \sum_1^{n=\infty} k_n \delta(y-x_n) dy}.$$

Лемма об аппроксимации функции $F_{[\alpha-\beta]^+}(t)$ остаточным временем наработки системы на основе метода моментов.

Если мы имеем ФР $F_{[\alpha-\beta]^+}(t)$, получившуюся в следствии разности двух случайных величин, при условии, что первая больше вычитаемой

$$F_{[\alpha-\beta]^+}(t) = \frac{\int_0^\infty F_1(t+y) f_2(y) dy - \int_0^\infty F_1(y) f_2(y) dy}{\int_0^\infty \bar{F}_1(y) f_2(y) dy},$$

то можно утверждать что при $n \rightarrow \infty$ справедливо следующее равенство:

$$\begin{aligned} F_{[\alpha-\beta]^+}(t) &= k_1 \frac{F_1(t+x_{e1}) - F_1(x_{e1})}{\bar{F}_1(x_{e1})} + k_2 \frac{F_1(t+x_{e2}) - F_1(x_{e2})}{\bar{F}_1(x_{e2})} + \dots \\ &+ k_\infty \frac{F_1(t+x_{en}) - F_1(x_{en})}{\bar{F}_1(x_{en})} = \\ &= \sum_1^{n=\infty} k_n \frac{F_1(t+x_{en}) - F_1(x_{en})}{\bar{F}_1(x_{en})} = F_\epsilon(t, x_{e1}, x_{e2}, \dots, x_{e\infty}), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\frac{F_1(t+x_{en}) - F_1(x_{en})}{\bar{F}_1(x_{en})}$ является функцией распределения остаточного

времени наработки системы, причем $\sum_1^\infty k_n = 1$.

Для удобства коэффициенты принимаются равными $\frac{1}{n}$.

Используя равенство корреляционных моментов с 1 до n -го порядка функции и плотности приближенно равны, а при $n \rightarrow \infty$ они совпадают.

Необходимо выполнить следующие условия:

$$\begin{cases} m_{[\alpha-\beta]^+} = m_{x_0}, \\ D_{[\alpha-\beta]^+} = D_{x_0}, \\ \mu_{3,[\alpha-\beta]^+} = \mu_{3,x_0}, \\ \dots \\ \mu_{n,[\alpha-\beta]^+} = \mu_{n,x_0}. \end{cases}$$

где $\mu_{3,\gamma}, \mu_{3,x_0}$ — центральные моменты 3-го порядка функций $F_{[\alpha-\beta]^+}(t)$ и $F(t, x_0)$; $\mu_{n,[\alpha-\beta]^+}, \mu_{n,x_0}$ — центральные моменты n -го порядка функций $F_{[\alpha-\beta]^+}(t)$ и $F(t, x_0)$.

Число скачков выбирается в зависимости от необходимой точности аппроксимации. Данная лемма позволяет определить вид функции распределения с точностью до констант x_0 , которые определяются численно.

В случае, когда произошло несколько поочередных восстановлений, формула (1) неприменима и необходимо производить поочередное вычитание из СВ α СВ β при условии, что $\alpha > \beta$:

$$\begin{aligned} F_{[\alpha-\beta_1]^+}(t) &= \frac{\int_0^\infty [F_1(t+y) - F_1(y)] f_2(y) dy}{\int_0^\infty \bar{F}_1(t) f_2(t) dt}, \\ F_{[\alpha-\beta_2]^+}(t) &= \frac{\int_0^\infty [F_{[\alpha-\beta_1]^+}(t+y) - F_{[\alpha-\beta_1]^+}(y)] f_2(y) dy}{\int_0^\infty \overline{F_{[\alpha-\beta_1]^+}}(t) f_2(t) dt}, \\ F_{[\alpha-\beta_3]^+}(t) &= \frac{\int_0^\infty [F_{[\alpha-\beta_2]^+}(t+y) - F_{[\alpha-\beta_2]^+}(y)] f_2(y) dy}{\int_0^\infty \overline{F_{[\alpha-\beta_2]^+}}(t) f_2(t) dt}, \\ &\dots \end{aligned} \tag{4}$$

$$F_{[\alpha-\beta_n]^+}(t) = \frac{\int_0^\infty [F_{[\alpha-\beta_{n-1}]^+}(t+y) - F_{[\alpha-\beta_{n-1}]^+}(y)] f_2(y) dy}{\int_0^\infty \overline{F_{[\alpha-\beta_{n-1}]^+}}(t) f_2(t) dt}.$$

При этом возникают трудности связанные, с громоздкими вычислениям выражений разности двух СВ при условии, что первая больше вычитаемой. Поэтому возможно однократное применение ФР разности двух СВ с последующим применением леммы:

$$F_{[\alpha-\beta_n]^+}(t) = \frac{\int_0^\infty [F_1(t+y) - F_1(y)] f_2^{(*)n}(y) dy}{\int_0^\infty \overline{F_1}(t) f_2^{(*)n} dt}. \quad (5)$$

где $f_2^{(*)n}(y)$ – свертка n-го порядка ПР СВ β .

Выражения (5) полностью аналогичны выражению (1), в связи с чем, возможно применение леммы об аппроксимации функции $F_{[\alpha-\beta]^+}(t)$ остаточным временем наработки системы на основе метода моментов:

$$\begin{aligned} F_{[\alpha-\beta_n]^+}(t) &= \frac{\int_0^\infty [F_1(t+y) - F_1(y)] f_2^{(*)n}(y) dy}{\int_0^\infty \overline{F_1}(t) f_2^{(*)n} dt} = \\ &= k_1 \frac{F_1(t+x_{e1}) - F_1(x_{e1})}{\overline{F_1}(x_{e1})} + k_2 \frac{F_1(t+x_{e2}) - F_1(x_{e2})}{\overline{F_1}(x_{e2})} + \dots \\ &+ k_\infty \frac{F_1(t+x_{en}) - F_1(x_{en})}{\overline{F_1}(x_{en})} = \\ &= \sum_{n=1}^{\infty} k_n \frac{F_1(t+x_{en}) - F_1(x_{en})}{\overline{F_1}(x_{en})} = F_e(t, x_{e1}, x_{e2}, \dots, x_{e\infty}) \end{aligned}$$

Приведем пример аппроксимации функции последовательной разности СВ при условии, что первая больше вычитаемых. Все СВ распределены по обобщенному закону Эрланга второго порядка с параметрами $\lambda_1, \lambda_2; \mu_1, \mu_2$ соответственно, причем

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

где $\lambda_1 = 2 \text{ ч}^{-1}, \lambda_2 = 0,05 \text{ ч}^{-1}; \mu_1 = 2 \text{ ч}^{-1}, \mu_2 = 0,18 \text{ ч}^{-1}$.

Результаты моделирования приведены на **Рис.1**.

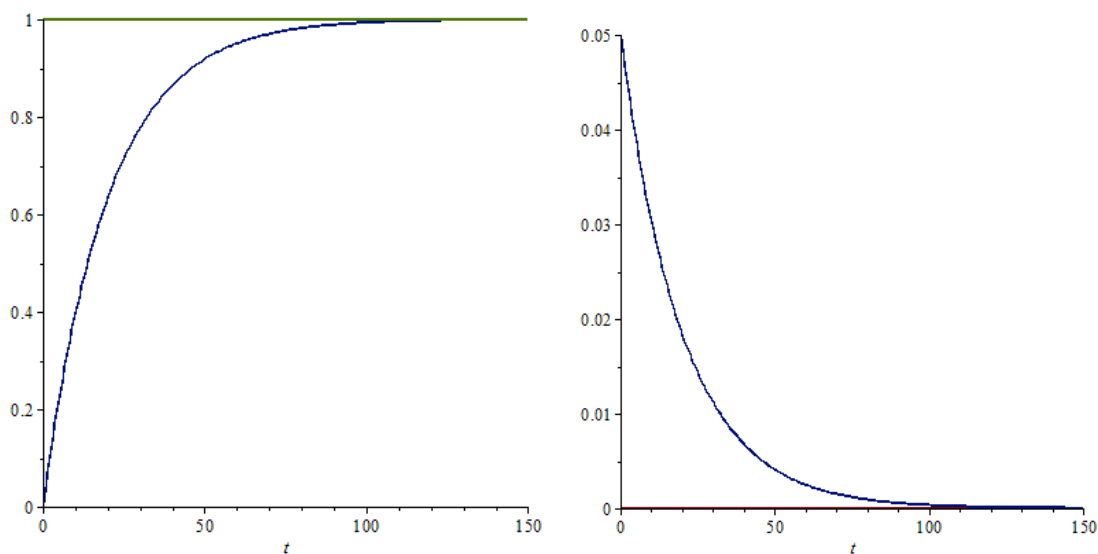


Рис.1 – Графики ФР и ПР функций последовательной разности двух СВ

Как видно из **Рис.1**, графики полностью совпадают, что подтверждает правильность выкладок.

Библиографический список

- 1.Королук В.С. Стохастические модели систем / В.С. Королук. Отв. ред. А.Ф. Турбин. – Киев: Наук. Думка, 1989. – 208 с.
- 2.Королук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надёжности систем / В.С. Королук, А.Ф. Турбин – Киев: Наук. Думка,1982. – 236 с.
- 3.Королук В.С. Фазовое укрупнение сложных систем / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – К.: Вища школа, 1978. – 112 с.
4. Копп В.Я. Фазовое укрупнение полумарковской системы, состоящей из двух последовательно соединенных технологических ячеек / В.Я. Копп, М.В. Заморёнов, Н.И. Чаленков // Автоматизация и измерения в машиноприборостроении. – 2018 – Т.4. – 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. – 2018. – Т.16 №3. – С.97-102.
- 6.Yao D.D. Flexible Manufacturing Systems: A Review of Analytical Models / D.D. Yao, J.A. Buzacott // Management Science. – 1986. – 32. – pp. 890-905.

7. MacGregor Smith J. Handbook of Stochastic Models and Analysis of Manufacturing System Operations / J. Smith MacGregor, B. Tan, (Eds.) – Springer-Verlag New York, 2013. – 373 p.

Bibliograficheskij spisok

1. Korolyuk V.S. Stohasticheskie modeli sistem / V.S. Korolyuk. Otv. red. A.F. Turbin. – Kiev: Nauk. Dumka, 1989. – 208 s.
2. Korolyuk V.S. Processy markovskogo vosstanovleniya v zadachah nadyozhnosti sistem / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin – Kiev: Nauk. Dumka, 1982. – 236 s.
3. Korolyuk V.S. Fazovoe ukрупnenie slozhnyh sistem / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin. – K.: Vishcha shkola, 1978. – 112 s.
4. Kopp V.Ya. Fazovoe ukрупnenie polumarkovskoj sistemy, sostoyashchej iz dvuh posledovatel'no soedinennyh tekhnologicheskikh yacheek / V.Ya. Kopp, M.V. Zamoryonov, N.I. Chalenkov // Avtomatizaciya i izmereniya v mashinopriborostroenii. – 2018 – T.4. – 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. – 2018. – T.16 №3. – S.97-102.
6. Yao D.D. Flexible Manufacturing Systems: A Review of Analytical Models / D.D. Yao, J.A. Buzacott // Management Science. – 1986. – 32. – pp. 890-905.
7. MacGregor Smith J. Handbook of Stochastic Models and Analysis of Manufacturing System Operations / J. Smith MacGregor, B. Tan, (Eds.) – Springer-Verlag New York, 2013. – 373 p.

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

²*Чаленков Никита Игоревич, ассистент, chalenkov-nikita@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

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

*APPROXIMATION OF THE FUNCTION OF THE SERIAL DIFFERENCE OF
RANDOM VARIABLES BY THE FUNCTION OF THE RESIDUAL SYSTEM
OPERATION TIME*

V.Ya. Kopp, N.I. Chalenkov, M.V. Zamoryonov

This article discusses the issue of successively approximating the difference of random variables by the distribution function of the residual operating time of the system. The results of modeling the sequential difference of random variables are compared with the approximating function.

Keywords: distribution function, approximation, difference of random variables.

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

Chalenkov Nikita Igorevich, assistant, chalenkov-nikita@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

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

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИКЛАДНЫХ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ

Доронина Ю.В.¹, Мустафаева М.И.²

Аннотация. В работе рассмотрены принципы принятия решений по повышению производительности высоконагруженных баз данных производственного назначения на основе времен обработки «тяжелых» запросов языка SQL join. Выполнена оценка влияния типов соединения отношений на время выборки простых запросов на основе операторов языка SQL join. Проведены экспериментальные исследования на базе СУБД Oracle sqldeveloper с несколькими видами соединения таблиц и с учётом вариаций числа кортежей отношений, участвующих в join. Предложена укрупненная схема системы поддержки принятия решений по повышению производительности прикладных высоконагруженных БД.

Ключевые слова. Прикладные базы данных, производственная информация, оптимизация, производительность, SQL – запрос, JOIN – запрос, поддержка принятия решений.

Введение. В настоящее время в связи с ростом требований к эффективности производственных систем, планированию их функционирования и развития, сохранности и целостности данных о реализуемых производственных процессах, придается большое значение хранилищам такой информации на основе баз данных (БД) [1, 3-5].

С точки зрения организации производственной информации автоматизация процессов сбора и обработки зачастую отстает от автоматизации офисной деятельности, а технологические и производственные БД основываются на довольно негибких технологиях. Производственному персоналу нужен оперативный и надежный доступ к текущим и архивным производственным данным, статистической и итоговой информации и т.д., что должно быть обеспечено соответствующим прикладным инструментарием. На **Рис.1** приведена схема системы управления качеством в масштабе предприятия и задачи (они выделены жирным шрифтом), для решения которых требуются информационные ресурсы.

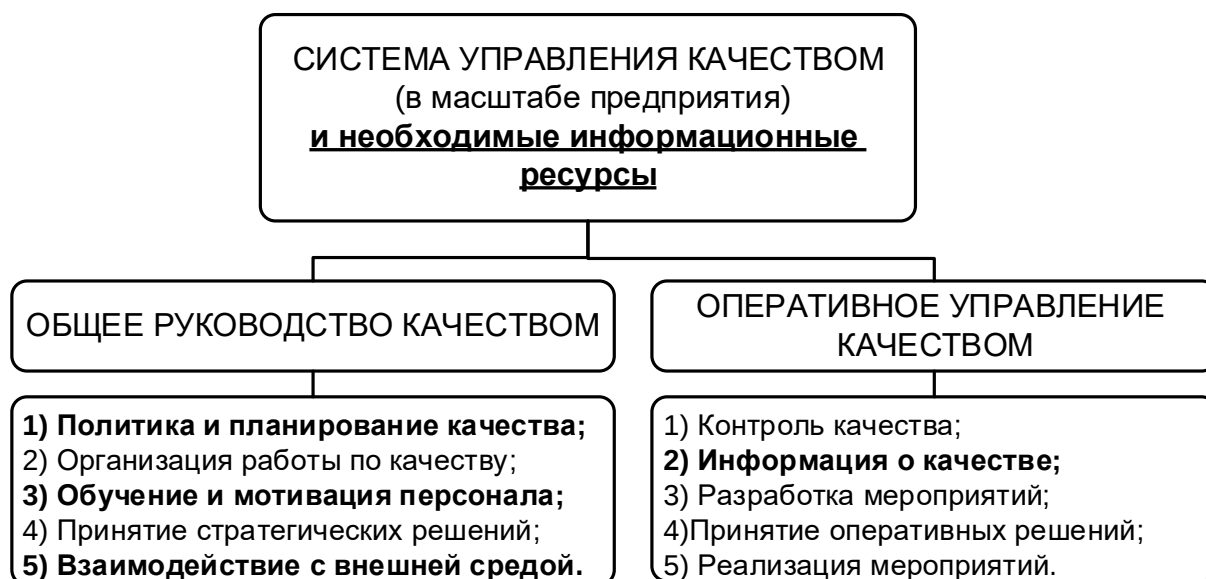


Рис.1 – Примеры информационных ресурсов в схеме управления качеством в масштабе предприятия

Например, на уровне общего руководства качеством, необходимы определение политики и планирования качества, обучение персонала и взаимодействие с внешней средой, а на уровне оперативного управления качеством нужна информация о качестве. Безусловно, данные для решения этих и других задач должны быть подготовлены для оперативного использования, быть качественными [6-8].

Традиционные подходы к организации управления данными в БД не всегда применимы в системах промышленной автоматизации, вследствие следующих факторов:

- (1) Требование оперативности обуславливает особенности задачи хранения производственных архивов: например, для системы с 5000 рабочими переменными, в БД каждую секунду необходимо вставлять 5000 строк;
- (2) Требование к объемам долгосрочного и среднесрочного хранения: например, архив с 5000 рабочими переменными требует под БД дисковой памяти объемом несколько терабайт. Реляционные БД с такими объемами резко понижают эффективность манипулирования;
- (3) Требование к обработке, наряду с классическим SQL, который, как язык, не во всех случаях подходит для обработки временных или

периодических данных, типичных для производственных систем, должны быть применены, например, OLAP- технологии [9].

Наиболее перспективной технологией автоматизированного управления во многих отраслях промышленности в настоящее время является SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных) как основа высокоэффективных и высоконадежных систем диспетчерского управления и сбора данных [10]. Практически все SCADA-системы, в частности Genesis, InTouch, Citect, используют ANSI SQL синтаксис, который является независимым от типа БД [10]. Однако, требования (1) – (3) в том числе, могут быть реализованы посредством тонкой настройки – оптимизации запросов, как основы повышения производительности таких высоконагруженных БД.

Таким образом, задача создания системы поддержки принятия решений по повышению производительности прикладных высоконагруженных баз данных на основе оптимизации запросов, является актуальной.

Принципы повышения производительности прикладных высоконагруженных баз данных. Задачи обеспечения целостности при критичности по отношению к нагрузке БД, приобретают особое значение. Это относится, например, к производствам, где требуется хранение и обработки критичных данных:

- онлайн-мониторинг и прогнозирование явлений внешней или внутренней среды в рамках инфраструктуры производственных систем, например, на крупных, распределенных комплексах предприятий;
- ресурсные системы предприятий, в которых должен быть обеспечен многопользовательский интерактивный доступ и оперативное обслуживание производственных мощностей;
- непосредственно промышленные системы с требованием защиты и распределенной клиент-серверной структурой и т.п [9-12].

В этих и других областях частоты обращения к БД пользователей (или операторов систем) могут не контролировано расти, в связи с чем возникает высокая нагрузка на систему. С другой стороны, в ряде случаев, нагрузка на БД может расти и в связи с ростом объема самой БД сложными запросами на выборку информации в результате соединения

двух и более таблиц (запросы на основе операций языка SQL – join). Таким образом, для решения задачи обеспечения заданной или требуемой производительности БД, целесообразно рассматривать область высоконагруженных систем [13].

Важным фактором, влияющим на особенности высоконагруженных систем, является время отклика системы, масштабируемость, модульность, нагрузка на интеграционный слой, дублирование критических узлов. Время отклика в таких системах напрямую определяется временем выполнения запроса [12-13].

Оптимизация запросов – это один из важных этапов их обработки, от которого зависит общая производительность критических БД, однако, представляет собой сложную исследовательскую задачу [14-17]. Методы, подходящие для простых случаев, не всегда приемлемы для особенностей конкретных реализаций, вследствие чего применяются довольно сложные методы денормализации. Положительным результатом применения оптимизированных запросов является уменьшение времени их выполнения, и, как следствие – повышение производительности БД в целом.

С учетом того, что СУБД выполняет множество разнообразных функций, то для оценки ее производительности возможно использовать различные показатели: время выполнения запросов, время поиска информации, время выполнения операций импортирования данных из файлов других форматов, максимальное число параллельных обращений к данным в многопользовательском режиме, время генерации отчетов и другие.

Наиболее часто для анализа производительности БД в целом и высоконагруженных БД в частности, применяется моделирование нагрузки на основе «тяжелых» запросов, в частности join. Как известно, существует несколько типов реализации запросов join, что имеет довольно значимое влияние на время их выполнения [16, 18-19].

Цель работы – оценить влияние вида соединения (запросов join) таблиц БД на производительность и построить модель поддержки принятия решений по повышению производительности высоконагруженных баз данных.

Анализ производительности высоконагруженных БД на основе реализации различных типов операций JOIN. Соединение отношений на языке реляционной алгебры реализуется операцией конкатенации кортежей: $R = R_1 \bowtie_{i \theta j} R_2$, где i, j номера или имена доменов в отношениях R_1 и R_2 соответственно, θ – операция сравнения.

На языке манипулирования данными (ЯМД) операция соединения отношений реализована с помощью оператора SQL *join*, который используется для выборки данных из двух или более таблиц и последующего включения полученных данных в один результирующий набор [18, 19].

В языке SQL реализованы несколько типов операций *join*: INNER, LEFT, RIGHT, FULL, CROSS JOIN (внутреннее соединение «inner join», внешнее соединения «outer join», левое, правое, полное и перекрёстное соединение соответственно).

Пример запроса с внутренним соединением: `SELECT * FROM Предприятие INNER JOIN Город`, где Предприятие и Город – некоторые отношения БД. Каждый кортеж первого отношения сопоставляется с каждым кортежем другого отношения и для полученной конкатенированной (составной) строки производится проверка условия соединения, при истинности которого в отношение-результат добавляется этот составной кортеж [16,19].

Операторы левого и правого внешнего соединений не являются симметричными, а значит, результат выполнения запроса SQL с этими операторами зависит от порядка соединяемых таблиц, при этом в результирующую таблицу гарантированно попадет строка из левой таблицы при запросе LEFT OUTER JOIN и строка из правой таблицы при запросе RIGHT OUTER JOIN. Работа оператора FULL JOIN вернет строки из всех отношений, которые участвуют в конкатенации кортежей с учетом пустых полей, обозначаемых идентификатором NULL [17].

Таким образом, планы запросов на основе различных типов операций *join*, значительно отличаются, что, в свою очередь определяет число операций чтения-записи, и в общем итоге, отражается на времени выполнения запросов. На **Рис.2** приведена схема информационных процессов в высоконагруженных производственных БД.

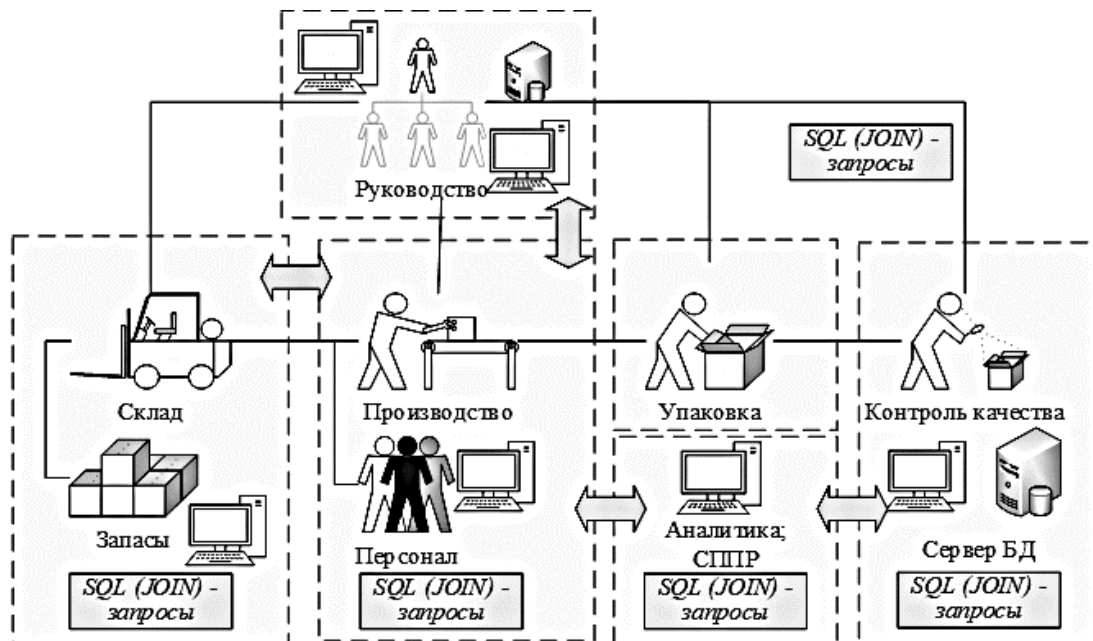


Рис.2 – Схема информационных процессов в высоконагруженных производственных БД в масштабе предприятия

Модель поддержки принятия решений по повышению производительности прикладных высоконагруженных БД. Для построения модели поддержки принятия решений по повышению производительности высоконагруженных баз данных определим параметры модели и критерии оценки производительности БД,

Примем π – производительность БД, $\pi_{\min} \leq \pi_k \leq \pi_{\max}$, $k = \|K\|$, где $\pi_{\min}$, $\pi_{\max}$ – минимальная и максимальная производительность БД;

- $z_i, i = \overline{1, I}$ – задача, решаемая БД, сформулированная в форме запроса SQL из множества задач Z , $z_i \in Z$;
- $\tau_j, j = \overline{1, J}$ – период времени, в течение которого решается задача z_i ;
 $\tau_0 \leq \tau_j \leq \tau_{kr}$, где τ_0, τ_{kr} – начальный и критический (конечный) моменты времени реализации запроса SQL.

Тогда функционал, определяющий производительность БД, в общем случае будет иметь вид:

$$\pi_{\tau_i}^{z_i} = F(z_i, t_i, r(t_{i-1}), \mu, V, \gamma(t_{i-1}), \gamma_{join}(t_{i-1}), \xi), \quad (1)$$

где $r(t_{i-1})$ – ресурсы БД, или определенный ресурс, который наибольшим образом влияет на производительность БД, например, объем оперативной

памяти и т.п.), в момент времени t_{i-1} , предшествующий текущему моменту времени t_i , $r_{\min}(t_i) \leq r(t_i) \leq r_{\max}(t_i)$;

μ – сложность БД (число таблиц, типы связей и т.п.), $0 \leq \mu \leq 1$;

V – число записей БД, $V \leq V^{kr}$ (V^{kr} – критический объем БД, при котором решение задачи $z_i \in Z$ в заданное время $\tau_j, j=1, J$ невозможно);

$\gamma(t_{i-1}), \gamma_{join}(t_{i-1})$ – средние интенсивности запросов и запросов join, соответственно, в момент времени t_{i-1} , предшествующий текущему моменту времени t_i ;

ξ – случайный параметр, отражающий возможную неопределенность при оценивании производительности БД, $0 \leq \xi \leq 1$.

Высокой считается нагрузка БД, когда выполняется одно и/или всех условия:

- 1) текущий объем БД $V_{\tau_i}^{z_i}$ близок к V^{kr} ;
- 2) сложность БД (μ) близка к 1;
- 3) средняя интенсивность запросов $\gamma_{join}(t_{i-1})$ близка к 1;
- 4) объем требуемых ресурсов $r(t_i)$ близок к $r_{\min}(t_i)$;
- 5) время реализации запроса значительно влияет на общую производительность системы и производственного процесса в целом.

Ставится задача при заданных $\gamma_{join}(t_{i-1})$, определить вид запроса join (INNER, LEFT, RIGHT, FULL из множества $X: x_{join} \in X$), при котором достигается максимальная производительность высоконагруженной БД, т.е. найти:

$$x_{join}^{z_i} = \arg \max_{x_{join} \in X} (\pi_{\tau_i}^{z_i}, \tau_i) \quad (2)$$

при условиях:

$$\tau_{\min} \leq \tau_i \leq \tau_{kr}; r_{\min}(t_i) \leq r(t_i) \leq r_{\max}(t_i); V_{\min} \leq V_{\tau_i}^{z_i} \leq V^{kr}; \mu_{\min} \leq \mu \leq 1. \quad (3)$$

Условия (3) формулируют ограничения на критические значения времени τ_i , ресурсов $r(t_i)$, объем БД (числа записей) $V_{\tau_i}^{z_i}$ и сложности БД (число таблиц, типы связей и т.п.) для производственной БД и определяются конкретными задачами и особенностями проектирования высоконагруженной БД. Параметры $\mu_{\min}$, $V_{\min}$ и $r_{\min}(t_i)$ определяют минимальную избыточность схемы БД при нормализации. На основе созданного тестового примера проведем оценивание длительности

выполнения запросов на двух отношениях с различными типами соединения относительно числа записей БД с целью формирования принципов принятия решений по повышению производительности БД.

Результаты оценивания длительности выполнения запросов на двух отношениях с различными типами соединения относительно числа записей БД.

В исследованиях проводился эксперимент на основе двух таблиц с численностью записей в диапазоне 100 – 500 строк. Вариация количества записей подбиралась таким образом, чтобы избежать неустойчивости статистик тестового примера и получения видимого влияния на производительность системы в целом. Реализация экспериментов осуществлена на основе Oracle SQL Developer, тестовая схема реляционной БД складского подразделения предприятия приведена на **Рис.3** и преобразована в нормальную форму Бойса-Кодда [20].

Приведем пример простого запроса выборки из двух таблиц в приведенном тестовом примере на основе операции left join:

```
select ord.order_id from order_details ord
left join products prod ON ord.product_id=prod.product_id.
```

Соединение двух отношений реализовано на таблицах тестовой БД: order_details (100-500 записей) и products (77 записей). Фрагменты результатов эксперимента приведены в таблице 1 и на **Рис.4**.

Таблица 1 – Оценки времен выполнения различных видов соединения реляционных отношений (операций join)

Число записей в отношениях БД, ν	Время выполнения операции JOIN			
	INNER t,c	LEFT t,c	RIGHT t,c	FULL t,c
100	0,016	0,015	0,016	0,015
200	0,015	0,016	0,031	0,031
300	0,032	0,031	0,047	0,032
400	0,047	0,037	0,063	0,038
500	0,062	0,047	0,073	0,141

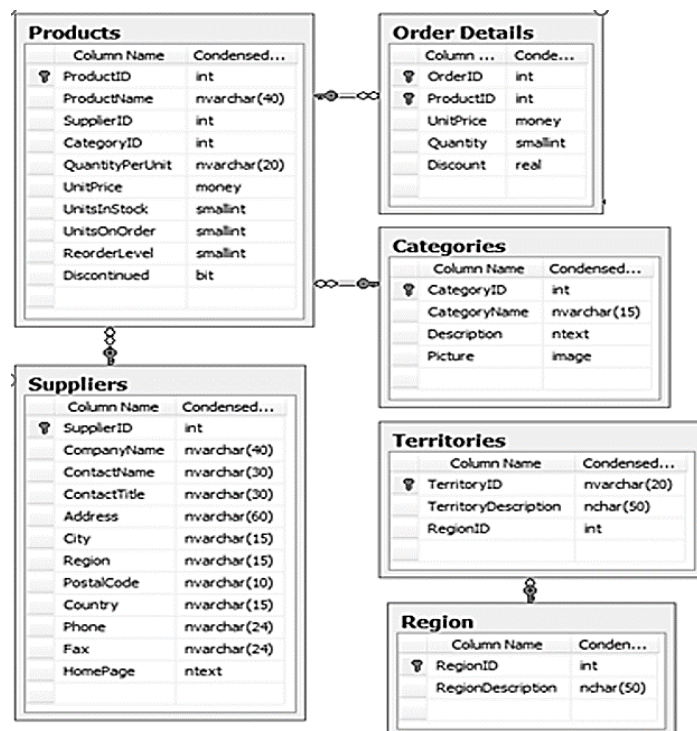


Рис.3 – Схема БД складского подразделения предприятия

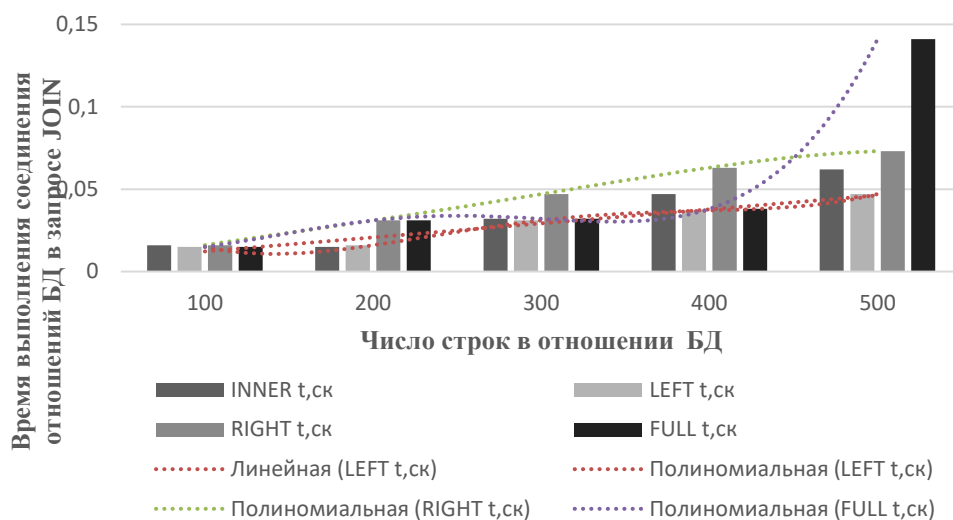


Рис.4 – Результаты оценки длительности запросов из двух таблиц с различными типами соединения относительно числа записей (числа строк отношений БД)

Анализ полученных результатов, Рис.4, показывает, что время выполнения запроса в зависимости от числа записей в отношении БД (рост в 5 раз) увеличивается от 4 до 9 раз при inner и full join соответственно.

Наибольшее время выполнения запроса отводится на тип соединения – full join (0,141 сек при 500 записей в БД), наименьшее на вид соединения – left (0,015 сек при 100 записей в БД). Таким образом, наблюдается разброс времени реализации запросов к БД при росте числа записей. Например, для $\nu = 500$ различие времен выполнения запросов в случаях inner и full join составляет 43,9%.

С учетом выражения (1) и параметрах, характерных для высоконагруженной тестовой производственной системы, оценки производительности приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценки производительности высоконагруженной производственной системы

Число записей БД, ν	Интенсивность $\gamma_{join}(t_i)$	Сложность БД, μ	Время выполнения операции JOIN		Оценка $\pi_{\tau_i}^{z_i}$	
			INNER t,c	FULL t,c	INNER	FULL
100	0,7	0,85	0,016	0,015	0,67	0,68
200	0,7	0,85	0,015	0,031	0,69	0,73
300	0,7	0,85	0,032	0,032	0,74	0,75
400	0,7	0,85	0,047	0,038	0,79	0,82
500	0,7	0,85	0,062	0,141	0,80	0,91

Математические ожидания производительности БД $\pi_{\tau_i}^{z_i}$ при реализации запросов SQL inner и full join равны соответственно: 0,738 и 0,778; и дисперсии 0,0034 и 0,0079, табл.2.

Таким образом, влияние вида запросов SQL в высоконагруженных производственных БД очевидно и может быть использовано в качестве рычага управления производительностью, что может служить основой реализации системы поддержки принятия решений (СППР) по повышению производительности БД.

Схема поддержки принятия решений по повышению производительности прикладных высоконагруженных БД.

На **Рис.5** представлена укрупненная схема системы поддержки принятия решений (СППР) по повышению производительности БД.

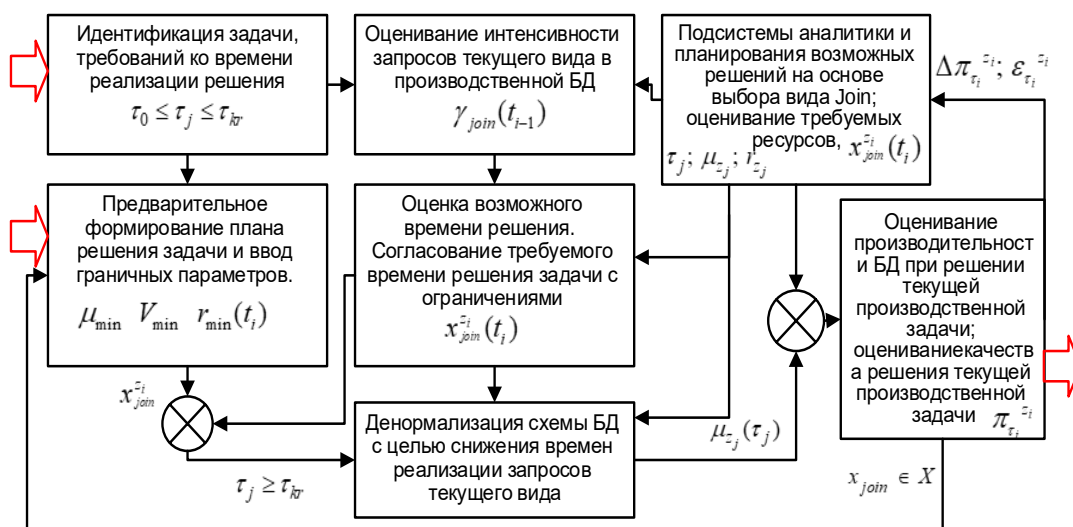


Рис.5 – Укрупненная схема системы поддержки принятия решений по повышению производительности высоконагруженных БД на основе оптимизации запросов

66

наиболее интенсивно использующих информационные ресурсы предприятий.

Библиографический список

1. Попов В.Б. Разработка базы данных для современной организации / В.Б. Попов, Е.А. Кузькина // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление – 2015. – vol. 1(67), no. 1. – pp. 128-139.
2. Белл Ч. Обеспечение высокой доступности систем на основе MySQL / Ч. Белл, М. Киндал, Л. Талманн – Русская редакция, БХВ. С.Петербург, 2012. – 624 с.
3. Промышленная автоматизация в России: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.industrialauto.ru>.
4. SCADA система InTouch для создания АСУТП, продукты Factory Suite: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.intouch.ru>
5. Программное обеспечение для автоматизации производства: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.citect.ru>
6. Федосеенко Т.А. Использование методов оптимизации запросов к распределенной базе данных для повышения эффективности информационных систем / Т.А. Федосеенко // Cloud of science. – 2014. – Т. 1, №. 3. – С. 479-486.
7. Пашинин О.В. Оптимизация запросов к базам данных / О.В. Пашинин // Математические структуры и моделирование. – 2007. – №. 1(17). – С. 100-107.
8. Григорьев Ю.А. Оценка времени выполнения SQL-запросов к базам данных / Ю.А. Григорьев // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2012. – № 1. – С. 30.
9. Тарасов С.В. СУБД для программиста. Базы данных изнутри / В.С. Тарасов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2015. – 320 с.
10. Лунев Р.А. Информационные системы в АСУТП: учебное пособие для вузов / Р.А. Лунев, С.В. Терентьев. – Орел: ОрелГТУ, 2009. – 213 с.
11. Алгазали С.М. Совершенствование процесса поиска неэффективных SQL-запросов в СУБД Oracle / С.М. Алгазали, В.Г. Айвазов, А.В. Кузнецова // Инженерный вестник Дона. – 2017. – №. 4 (47). – С. 103.
12. Медведев Ю. С. Повышение производительности базы данных инструментами СУБД Oracle / Ю.С. Медведев, В.В. Терехов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2018. – №. 9. – С. 32-34.
13. Электронный ресурс [<http://5fan.ru/wievjob.php?id=63438>]
14. Чем стандартная архитектура отличается от архитектуры высоконагруженных приложений?: [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://hawkhouse.ru/blog/chem-standartnaya-arhitektura-otlichается-ot-arhitektury-vysokonagruzhennyh-prilozhenij>

15. Амиров С.Н. Особенности разработки высоконагруженных систем / С.Н. Амиров // International Journal of Open Information Technologies. 2020. – vol. 8, no. 8. – pp. 37-45.
16. Медведев Ю.С. Анализ эффективности методов повышения производительности базы данных ORACLE / Ю.С. Медведев, Е.И. Мацко // Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании. – 2019. – С. 123-127.
17. Хуторов В. С. Основные проблемы и цели мониторинга базы данных средствами СУБД ORACLE / В.С. Хуторов, М.Н. Беленькая // Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. – 2013. – №. 7. – С. 133-134.
18. Медведев Ю.С. Мониторинг производительности базы данных Oracle / Ю.С. Медведев, Д.Л. Пиотровский // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2018. – №. 4 (231). – С. 210-213.
19. Щипцова А. В. Поиск, анализ и оптимизация длительных запросов к базе данных / А.В. Щипцова, М.Ю. Казначеева // Состояние и перспективы развития ИТ-образования. – 2018. – С. 277-285.
20. Коннолли Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика / Т. Коннолли, К. Бегг // Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. – 2003. – 3-е изд. – 1436 с.

Bibliograficheskij spisok

1. Popov V.B. Razrabotka bazy dannyh dlya sovremennoj organizacii / V.B. Popov, E.A. Kuz'kina // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Ekonomika i upravleniye – 2015. – vol. 1(67), no. 1. – pp. 128-139.
2. Bell Ch. Obespechenie vysokoj dostupnosti sistem na osnove MySQL / Ch. Bell, M. Kindal, L. Talmann – Russkaya redakciya, BHV. S.Peterburg, 2012. – 624 s.
3. Promyshlennaya avtomatizaciya v Rossii: [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.industrialauto.ru>.
4. SCADA sistema InTouch dlya sozdaniya ASUTP, produkty Factory Suite: [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.intouch.ru>
5. Programmnoe obespechenie dlya avtomatizacii proizvodstva: [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.citect.ru>
6. Fedoseenko T.A. Ispolzovanie metodov optimizacii zaprosov k raspredelennoj baze dannyh dlya povysheniya effektivnosti informacionnyh sistem / T.A. Fedoseenko // Cloud of science. – 2014. – T. 1, №. 3. – S. 479-486.
7. Pashinin O.V. Optimizaciya zaprosov k bazam dannyh / O.V. Pashinin // Matematicheskie struktury i modelirovanie. – 2007. – №. 1(17). – S. 100-107.

8. Grigor'ev Yu.A. Ocenka vremeni vypolneniya SQL-zaprosov k bazam dannyh / Yu.A. Grigor'ev // Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii – 2012. – № 1. – S. 30.
9. Tarasov S.V. SUBD dlya programmista. Bazy dannyh iznutri / V.S. Tarasov. – M.: SOLON-Press, 2015. – 320 s.
10. Lunev R.A. Informacionnye sistemy v ASUTP: uchebnoe posobie dlya vuzov / R.A. Lunev, S.V. Terent'ev. – Orel: OrelGTU, 2009. – 213 s.
11. Algazali S.M. Sovershenstvovanie processa poiska neeffektivnyh SQL-zaprosov v SUBD Oracle / S.M. Algazali, V.G. Ajvazov, A.V. Kuznecova // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2017. – №. 4 (47). – S. 103.
12. Medvedev YU. S. Povyshenie proizvoditel'nosti bazy dannyh instrumentami SUBD Oracle / YU.S. Medvedev, V.V. Terekhov // Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik. – 2018. – №. 9. – S. 32-34.
13. Elektronnyj resurs [<http://5fan.ru/wievjob.php?id=63438>]
14. Chem standartnaya arhitektura otlichaetsya ot arhitektury vysokonagruzhennyh prilozhenij?: [elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://hawkhouse.ru/blog/chem-standartnaya-arhitektura-otlichaetsya-ot-arhitektury-vysokonagruzhennyh-prilozhenij>
15. Amirov S.N. Osobennosti razrabotki vysokonagruzhennyh sistem / S.N. Amirov // International Journal of Open Information Technologies. 2020. – vol. 8, no. 8. – pp. 37-45.
16. Medvedev Yu.S. Analiz effektivnosti metodov povysheniya proizvoditel'nosti bazy dannyh ORACLE / Yu.S. Medvedev, E.I. Macko // Informacionnye resursy i sistemy v ekonomike, nauke i obrazovanii. – 2019. – S. 123-127.
17. Hutorov V. S. Osnovnye problemy i celi monitoringa bazy dannyh sredstvami SUBD ORACLE / V.S. Hutorov, M.N. Belen'kaya // T-Comm-Telekommunikacii i Transport. – 2013. – №. 7. – S. 133-134.
18. Medvedev Yu.S. Monitoring proizvoditel'nosti bazy dannyh Oracle / Yu.S. Medvedev, D.L. Piotrovskij // Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tekhnicheskie nauki. – 2018. – №. 4 (231). – S. 210-213.
19. Shchipcova A. V. Poisk, analiz i optimizaciya dlitel'nyh zaprosov k baze dannyh / A.V. Shchipcova, M.Yu. Kaznacheeva // Sostoyanie i perspektivy razvitiya IT-obrazovaniya. – 2018. – S. 277-285.
20. Konnolli T. Bazy dannyh. Proektirovanie, realizaciya i soprovozhdenie. Teoriya i praktika / T. Konnolli, K. Begg // Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management. – 2003. – 3-e izd. – 1436 s.

¹Доронина Юлия Валентиновна, д.т.н., доцент,
YVDoronina@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский
государственный университет

²*Мустафаева Мерьем Ибраимовна, аспирант, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

**DECISION SUPPORT SYSTEM FOR IMPROVING THE
PERFORMANCE OF APPLIED HIGH-LOAD DATABASES**

Yu.V. Doronina, N.I. Mustafaeva

The paper considers the principles of decision-making to improve the performance of highly loaded production databases based on the processing times of "heavy" SQL join queries. The evaluation of the influence of the types of connection of relations on the sampling time of simple queries based on SQL join language operators was performed. Experimental studies have been conducted on the basis of Oracle sql developer DBMS with several types of joining tables and taking into account variations in the number of tuples of relations involved in join. An enlarged scheme of the decision support system for improving the performance of applied high-load databases is proposed.

Keyword: application databases, production information, optimization, performance, SQL query, JOIN query, decision support.

Doronina Yulia Valentinovna, doctor of technical sciences, docent, YVDoronina@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Mustafayeva Meryem Ibraimovna, postgraduate student, Sevastopol, Sevastopol State University, Russia

УДК 681.518

ОБРАБОТКА ПОКАЗАНИЙ ЭЛЕМЕНТА ХОЛЛА В КОНЦЕВЫХ ДАТЧИКАХ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МЕХАНИЗМОВ

Скатков И.А.¹, Осипов К.Н.²

***Аннотация.** Описываются погрешности концевых датчиков положения на основе элемента Холла, вызванные деградацией свойств постоянного магнита. Предлагается для устранения этого типа погрешностей в качестве точки срабатывания датчика применить центр магнита, где магнитная индукция минимальна, а в качестве порогового элемента датчика применить детектор нуля. Проведено построение векторного поля магнитной индукции постоянного магнита и показано, что на одинаковом расстоянии от полюсов магнитная индукция имеет минимальное значение и направлена перпендикулярно продольной оси магнита.*

***Ключевые слова.** Концевой датчик, элемент Холла, ноль-детектор, векторное поле, деградация постоянного магнита.*

Введение. Практически все автоматизированные системы управления движением содержат такой прибор, как концевой датчик линейных перемещений механизмов, вырабатывающий определенный сигнал при достижении подвижной частью заданной точки. Монтируют их на движущиеся механизмы для ограничения перемещения в заданных границах. От точности работы таких датчиков зависит класс точности механизма в целом. Особенно актуальна точность позиционирования для точных приборов, таких как средства производства микроэлектроники, измерительные станции, станки с ЧПУ.

Одной из разновидностей концевых выключателей являются бесконтактная их модификация. Коммуникация приборов настроена на срабатывание при попадании в зону чувствительности какого-то определенного объекта. Движущихся частей в самом приборе нет, как нет и механического контакта между предметом воздействия и настроенным на него элементом выключателя. В последнее время в качестве концевых датчиков применяют датчик на элементе Холла [1]. Он обладает как рядом преимуществ, так и одним весьма существенным недостатком. К преимуществам такого датчика следует отнести: надежность, отсутствие износа (не имеют движущихся частей), простота; практически не требует

обслуживания, низкая стоимость, способность работать в агрессивной среде.

Датчики холла имеют и весьма существенный недостаток – сложно обеспечить стабильность измерений. Из-за постоянно меняющегося магнитного поля точность измерений ДХ снижается.

Анализ явления. Магнитное поле, от которого срабатывает датчик, задается постоянным магнитом. Уровень выходного напряжения датчика Холла зависит от вектора индукции $\vec{B}$. Расчёт силовых линий магнитного поля постоянного магнита представляет собой сложную вычислительную задачу. Как пример, на **Рис.1** изображена картина силовых линий подковообразного магнита.

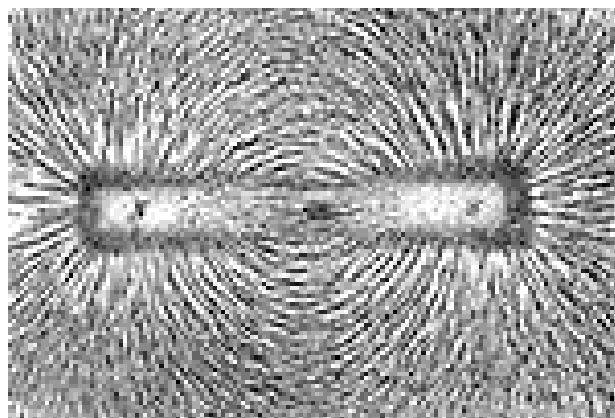


Рис.1 – Силовые линии поля стержневого магнита

Из рисунка видно, что расположение силовых линий в значительной степени определяется геометрией самого магнита, его однородностью, имеет множество расхождений с теоретической иллюстрацией силовых линий поля постоянного магнита [2]. С некоторым приближением силовые линии магнитного поля постоянного магнита совпадают с магнитным полем, создаваемым соленоидом [3].

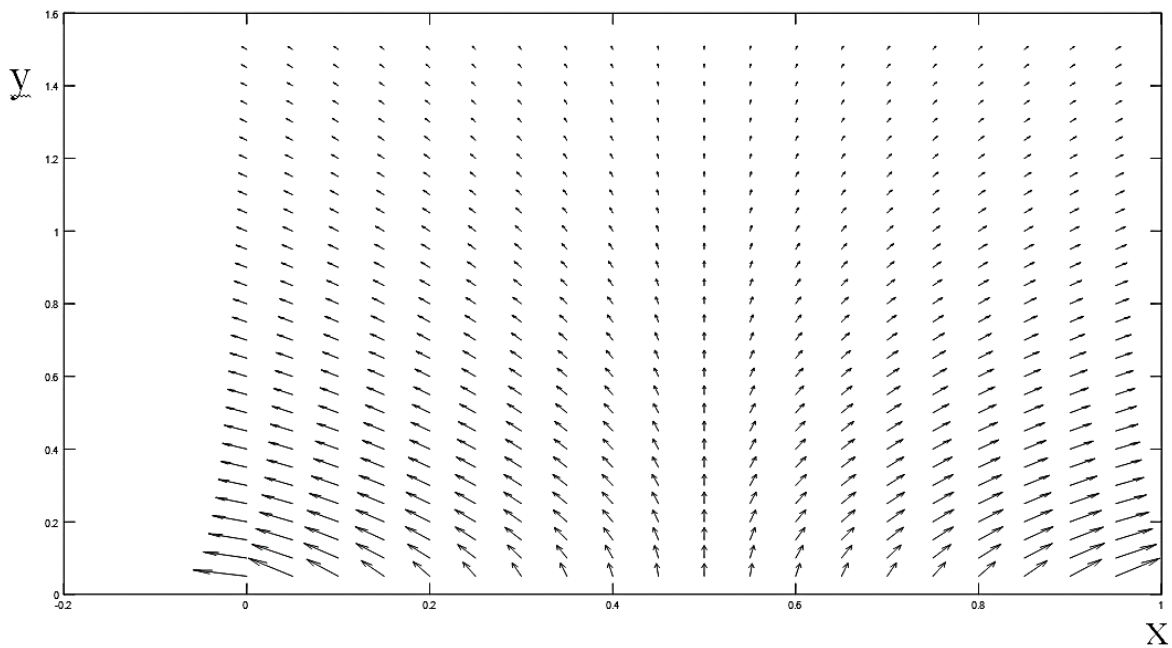


Рис.2 – Векторное поле силовых линий стержневого магнита

Векторное поле силовых линий стержневого постоянного магнита, полученное с помощью пакета Matlab показано на **Рис.2** (длины стрелок показаны в логарифмическом масштабе). Как видно из рисунка, в центре магнита силовые линии имеют минимальное значение и перпендикулярны оси магнита, а значит, выходное напряжение элемента Холла будет нулевым. (здесь и далее холловскую полупроводниковую пластину будем называть элемент Холла, полностью законченное устройство с элементами электронной обвязки и снабженное постоянным магнитом будем называть датчик тока).

Выходное напряжение элемента Холла определяется формулой

$$U_h = R_h \frac{IB}{d}, \quad (1)$$

где R_h – постоянная Холла, значение и знак зависят от свойств образца; I – ток в направлении перпендикулярном выходным контактам элемента Холла; d – толщина элемента Холла; B – величина проекции вектора магнитной индукции на плоскость датчика, перпендикулярно направлению тока.

Как видно из формулы (1), выходное напряжение элемента Холла при обеспечении стабилизации тока, прямо пропорционально значению B . Еще раз следует отметить, что необходимо обеспечить постоянство тока через элемент. На практике это не всегда соблюдается, и элемент питают постоянным напряжением, однако, из-за изменения локальных

концентраций носителей заряда, проводимость элемента будет изменяться в зависимости от величины проекции B .

Способ решения задачи. Зависимость B (а значит и U_h) от линейного перемещения элемента холла вдоль продольной оси магнита единичной длины показана на **Рис.3**.

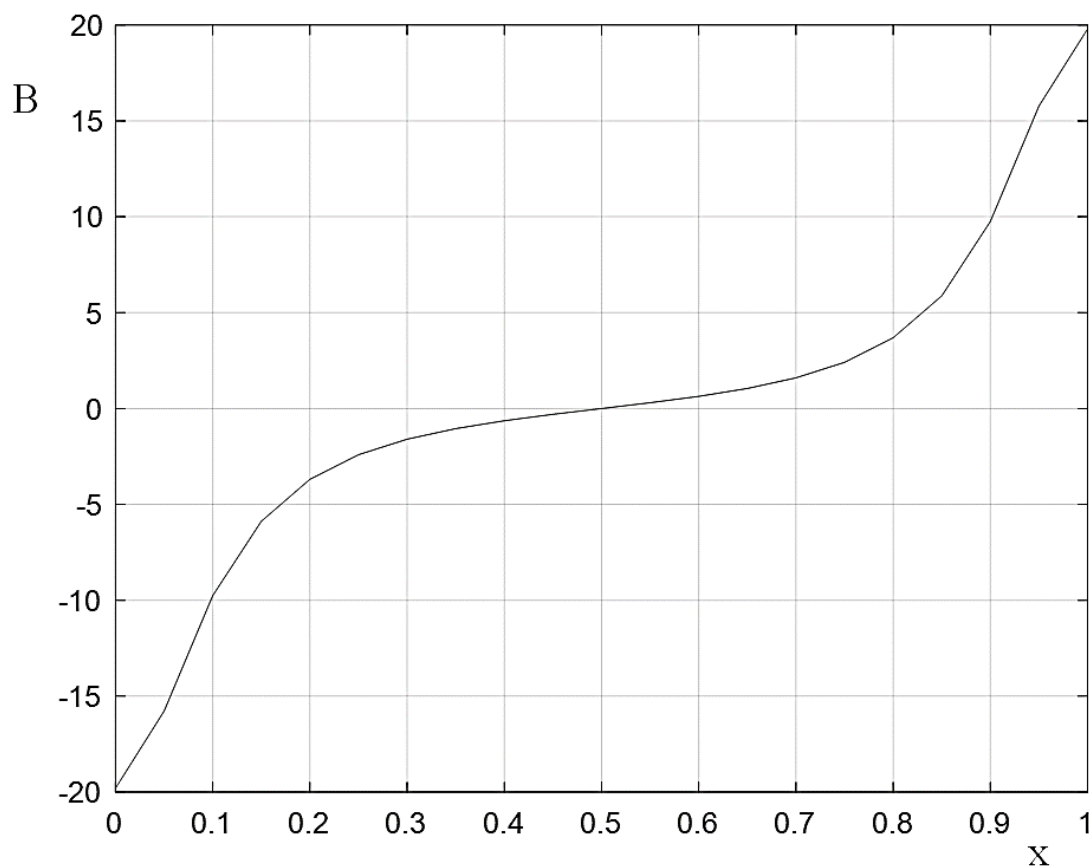


Рис.3 – График зависимости B от линейного перемещения элемента Холла вдоль продольной оси магнита

На точность показаний датчиков на элементе Холла влияет временная нестабильность постоянных магнитов, которая представляет собой процесс магнитного старения и может быть описана законом, близким к логарифмическому [4]. Количественно старение составляет от десятых долей процента до 20 процентов в год и зависит не только от свойств магнитотвердого материала, но и от положения рабочей точки магнита на кривой размагничивания (нагрузочная характеристика) и внешних условий: температуры, механических нагрузок, вибрации, наличия внешних магнитных полей и т.п.

Естественное изменение магнитной индукции, вызванное магнитным старением за время τ , оценивается коэффициентом естественного магнитного старения

$$\beta_c = \frac{\Delta B}{B} \cdot 100\% = \eta \cdot \lg \frac{10\tau}{\tau_0} \quad (2)$$

где η – коэффициент неустойчивости.

При дальнейшей обработке выходного сигнала элемента Холла с помощью амплитудного детектора (например, на основе триггера Шмитта) при деградации магнита получается ситуация, когда точка в которой достигается пороговое значение срабатывания датчика значительно смещается. Может даже возникнуть ситуация что деградация магнита достигла такой степени, что пороговое значение не достигается вообще, что приводит к полному отказу изделия. Это явление часто наблюдается в бесколлекторных двигателях постоянного ротора, в которых датчик положения ротора сделан на основе датчика Холла.

Следует обратить внимание, что в случае деградации постоянного магнита, точка, которой соответствует значение ноль (центр магнита), остается неподвижной. Поэтому можно добиться значительного повышения точности показаний датчика, при обработке сигналов элемента Холла с помощью детектора нуля (Zero Cross Detector) [5]. Однако у этого способа есть два недостатка:

1. При расстоянии элемента на значительном расстоянии от постоянного магнита (много больше геометрических размеров магнита), магнитная индукция также близка к нулю, что может вызвать ложное срабатывание детектора нуля. Это можно предотвратить, если высокий уровень сигнала элемента Холла (полярность зависит от направления движения) интерпретировать как сигнал готовности для детектора нуля. Т.е. после высокого уровня напряжения через короткий промежуток времени должен быть нулевой уровень.

2. Длительность выходного импульса нуля не может быть бесконечно малой. Детектор нуля имеет мертвую зону, т.е. какой-то интервал напряжений, содержащий в себе ноль, в течении которого на выходе датчика будет активный сигнал. При деградации магнита наклон графика на **Рис.3** меняется, следовательно, меняется и время, в течении которого напряжение Холла проходит мертвую зону. Устранить этот недостаток можно усилив Холловское напряжение усилителем с автоматической регулировкой усиления, таким образом, чтобы наклон характеристики на **Рис.3** оставался постоянным.

Вывод. Предлагаемое решение позволяет улучшить точность позиционирования подвижных элементов механизмов, что особенно важно для приборов точной механики, таких как координатно – измерительные машины, 3D принтеры, станки с ЧПУ, установки фотолитографии и др. Однако, пока что оценка повышения точности носит качественный характер, и для внедрения этого способа необходимо провести ряд опытно-

конструкторских работ, натурных и вычислительных экспериментов с реальными данными.

Библиографический список

1. Интегральные малопотребляющие датчики положения на основе эффекта Холла 01. 08. 2018: [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.compel.ru/lib/92805>
2. Васильев А.Э. Адаптивный курс физики. Электричество и магнетизм / А.Э. Васильев, В.В. Козловский, Н.Г.Захаров – СПб., 2009. – 63 с.
3. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм: учебное пособие / Г.Е. Зильберман. - 2-е изд. – Долгопрудный: Интеллект, 2008. – 374 с.
4. Миткевич А. В. Стабильность постоянных магнитов / А. В. Миткевич. - Изд. 2-е. – Москва: Ленанд, 2015. – 126 с.
5. Монк С. Электроника. Теория и практика / С. Монк, П. Шерц. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 1168 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Integral'nye malopotrebyayushchie datchiki polozheniya na osnove effekta Holla 01. 08. 2018: [elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.compel.ru/lib/92805>
2. Vasil'ev A.E. Adaptivnyj kurs fiziki. Elektrichestvo i magnetizm / A.E. Vasil'ev, V.V. Kozlovskij, N.G.Zaharov – SPb., 2009. – 63 s.
3. Zil'berman G.E. Elektrichestvo i magnetizm: uchebnoe posobie / G.E. Zil'berman. - 2-e izd. – Dolgoprudnyj: Intellekt, 2008. – 374 s.
4. Mitkevich A. V. Stabil'nost' postoyannyh magnitov / A. V. Mitkevich. - Izd. 2-e. – Moskva: Lenand, 2015. – 126 s.
5. Monk S. Elektronika. Teoriya i praktika / S. Monk, P. SHerc. — SPb.: BHV-Peterburg, 2018. — 1168 s.

¹Скатков Иван Александрович, к.т.н., доцент, sks144@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

²Осипов Константин Николаевич, к.т.н., доцент, sks144@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

PROCESSING OF INDICATIONS OF HALL ELEMENT IN END SENSORS OF LINEAR MOVEMENTS OF MECHANISMS

I.A. Skatkov, K.N. Osipov

The article describes the errors of the end position sensor based on the Hall element caused by the degradation of the permanent magnet properties. To eliminate this type of errors, it is proposed to use the center of the magnet as the

sensor actuating point, where magnetic induction is minimal, and to use a cross zero detector as the threshold element of the sensor. A of magnetic induction vector field of a permanent magnet is constructed and it is shown that at the same distance from the poles, magnetic induction has a minimum value and is directed perpendicular to the longitudinal axis of the magnet.

Key words: end sensor, hall element, zero detector, vector field, permanent magnet degradation.

Skatkov Ivan Aleksandrovich, candidate of technical sciences, docent, sks144@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Osipov Konstantin Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, sks144@yandex.ru, Russia, Sevastopol State University

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ НА ВНОСИМОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ

Мирзоян Н.Ю.¹, Балакин А.И.², Балакина Н.А.³

Аннотация. Рассмотрена математическая модель, описывающая влияние различных параметров измерительной цепи при вихретоковом контроле на вносимое напряжение. Представлены результаты моделирования и проведен их анализ, показавший возможность увеличения чувствительности вихретокового контроля за счет подбора соответствующих параметров.

Ключевые слова. Неразрушающий контроль, вихретоковый метод, магнитная проницаемость, вносимое напряжение, частота поля, компенсация.

Одной из важных фундаментальных и прикладных задач приборостроения является разработка и совершенствование методов исследования и диагностики физико-химических и эксплуатационных характеристик материалов, используемых в современной промышленности и научно-исследовательской сфере. Контроль качества металлопродукции становится все более очевидным способом сбережения ресурсов и наиболее верным с экономической точки зрения [1]. Производство и эксплуатация ряда высокотехнологичных изделий, используемых в авиакосмической отрасли, в транспортной сфере, в ядерной сфере, а также в экстремальных условиях добычи полезных ископаемых, невозможны без контроля их качества [2,3]. Для выявления и оценки параметров дефектов применяются различные методы неразрушающего контроля. Ведущие позиции применительно к выявлению и оценки параметров поверхностных дефектов типа трещин занимают вихретоковый и электропотенциальный методы, основанные на перераспределении электрического тока, обтекающего трещину [4,5].

В основе метода вихревых токов лежит взаимодействие электромагнитного поля, генерируемого вихретоковым преобразователем, с объектом контроля. Первичное электромагнитное поле, возбуждаемое генераторной обмоткой, индуцирует вихревые токи в электропроводящем объекте контроля. Соответственно, в контролируемом объекте появляются вихревые токи, которые наводят электродвижущую силу (сокращенно – ЭДС) на измерительной обмотке. Именно эта ЭДС и несет сведения, которые позволяют сделать вывод о состоянии объекта, в котором производится обнаружение дефектов. Установлено, что вихревые токи

распределяются по объекту контроля согласно геометрическим параметрам вихретокового преобразователя и того положения, которое занимает вихретоковый преобразователь относительно контролируемого объекта. Кроме того, значительное влияние на картину распределения вихревых токов оказывают электромагнитные характеристики изготовленного вихретокового преобразователя.

При небольших размерах исследуемых объектов и низкой частоте поля, генераторную и измерительную катушки преобразователя представляют собой виток с бесконечно малым сечением проволоки, который создает поле, по которому проходит переменный ток. Данный виток имеет радиус R_1 , ток в витке изменяется с циклической частотой ω , выражение для ЭДС будет иметь вид [6,7]:

$$\xi = -j \frac{\omega \mu_0}{4\pi} (34n-10) W_1 W_2 \sqrt{R_1 R_2} e\left(-\frac{3c}{2R}\right) I - j \frac{\omega \mu_0}{4\pi} \times \\ \times (34n-10) W_1 W_2 \sqrt{R_1 R_2} e\left(-\frac{3|h_1+h_2|}{2R}\right) \times I \times \varphi_1(\gamma)$$

где $\gamma = \frac{3}{2R}$, $n = \frac{R_2}{R_1}$, если $\frac{R_2}{R_1} \leq 1$ или $n = \frac{R_1}{R_2}$, если $\frac{R_1}{R_2} \leq 1$

I – ток в генераторной обмотке ВТП; μ_0 – магнитная постоянная; j – мнимая единица; W_1, W_2 – число витков измерительной и возбуждающей обмоток вихретокового преобразователя ($W_1 = 20$, $W_2 = 400$); R_1, R_2 – радиусы измерительной и возбуждающей обмоток ($R_2 = 1,3 \times 10^{-4}$ м, $R_1 = 0,5 \times 10^{-4}$ м); R – наибольшее из R_1, R_2 ; h_1 и h_2 – расстояния от возбуждающей и измерительной обмоток до поверхности объекта контроля, $c = |h_1 + h_2|$; $\varphi_1(\gamma)$ – функция, определяемая из граничных условий

$$\varphi_1(\gamma) = \frac{x - \sqrt{x^2 + j\beta^2}}{x + \sqrt{x^2 + j\beta^2}},$$

где $x = \gamma R_2$, $\gamma = \frac{3}{D_9}$, $\beta = D_9 \sqrt{\mu_0 \omega \sigma}$ – обобщенный параметр исследуемого объекта, $D_9 = D_1 + 1,5 \times h_1$ – диаметр контура максимальной плотности

вихревых токов, где D_1 – диаметр генераторной обмотки, h_1 – расстояние от генераторной обмотки до исследуемого объекта.

Тогда напряжение, вносимое в измерительную обмотку будет равно:

$$U_{вн} = j \times U_0' \times e(-3\xi) \times (\operatorname{Re}(\varphi_1(\gamma)) + j \times \operatorname{Im}(\varphi_1(\gamma))), \text{ где } \xi = \frac{h_1 + h_2}{D_2}.$$

При учете характеристик сердечника и, как следствие, величины магнитной индукции, создаваемой им, можно записать:

$$U_0' = 1.7 \times 10^{-6} \omega(m' - 0.3) \sqrt{D_1 D_2} W_1 W_2 \mu_0 \times I_{to} \sqrt{\frac{W - W_t V}{W}},$$

где $m' = 0.38$, μ_0 – начальная магнитная проницаемость, D_1, D_2 – диаметры генераторной и измерительной обмоток датчика, I_{to} – сила тока возбуждающей обмотки ($I_{to} = 3 \text{ мА}$), $V = 0,094$ – объем сердечника, $W = 0.66$ – мощность источника, питающего токовую обмотку, W_t –

магнитные потери $W_t = \frac{10^{-7}}{4} B_{\max}^2 f \frac{\operatorname{tg} \delta}{\mu}$, где $\delta = \sqrt{\frac{2}{2\pi f \mu_0 \sigma}}$,

$$B_{\max} = \mu_0 \mu_{\max} \frac{I_{to} W_2}{2R_2} = 2.89 \text{ Тл}, \mu_{\max} = 5 \times 10^2 \text{ Гн/м}.$$

Тогда вносимые напряжения будут иметь вид:

$$\operatorname{Re}(U_{вн}) = U_0' \times \exp(-3\xi) \times \operatorname{Im}(\varphi_1(\gamma)),$$

$$\operatorname{Im}(U_{вн}) = U_0' \times \exp(-3\xi) \times \operatorname{Re}(\varphi_1(\gamma)).$$

Данные выражения используются для расчета тех напряжений, которые вносятся в измерительную обмотку сверхминиатюрного вихретокового преобразователя.

Действительные и мнимые компоненты абсолютного вносимого напряжения будут рассчитываться по формулам:

$$\operatorname{Re}(U_{вн}) = U_0' \times \exp(-3\xi) \times \operatorname{Re}(\varphi_1(\gamma)),$$

$$\operatorname{Im}(U_{вн}) = U_0' \times \exp(-3\xi) \times \operatorname{Im}(\varphi_1(\gamma)).$$

В Таблице 1 представлены результаты расчетов напряжения для разных материалов при: $h_1 = 0,22 \text{ мм}$, $h_2 = 0,2 \text{ мм}$, $f = 3000 \text{ Гц}$; по представленным в ней результатам построен график напряжения, **Рис.1**, вносимого в измерительную обмотку при различных материалах с разной магнитной проницаемостью σ .

В Таблице 2 представлены результаты расчетов напряжения для разных значений f при: $h_1 = 0,22 \text{ мм}$, $h_2 = 0,2 \text{ мм}$, $\sigma = 62,5 \times 10^6 \text{ См/м}$; по

представленным в ней результатам построен график напряжения, **Рис.2**, вносимого в измерительную обмотку при различных значениях f .

В Таблице 3 представлены результаты расчетов напряжения для разных значениях h_1 и h_2 при: $f = 3000$ Гц, $\sigma = 62,5 \times 10^6$ См/м; по представленным в ней результатам построен график напряжения, **Рис.3**, вносимого в измерительную обмотку при разных значениях h_1 и h_2 .

Таблица 1 – Результаты расчетов напряжения для разных материалов

D_9 , мм	0,59			
ξ	0,711			
γ , мм	5,08			
материал	серебро	медь	алюминий	литая сталь
σ , МСм/м	62,5	58,2	37,0	7,8
β	0,717	0,692	0,552	0,253
δ	0,0011	0,0012	0,0015	0,0032
$\text{Re}(U_{вн})$, мВ	14,292	12,935	6,378	0,337
$\text{Im}(U_{вн})$, мВ	27,356	26,266	19,253	4,593

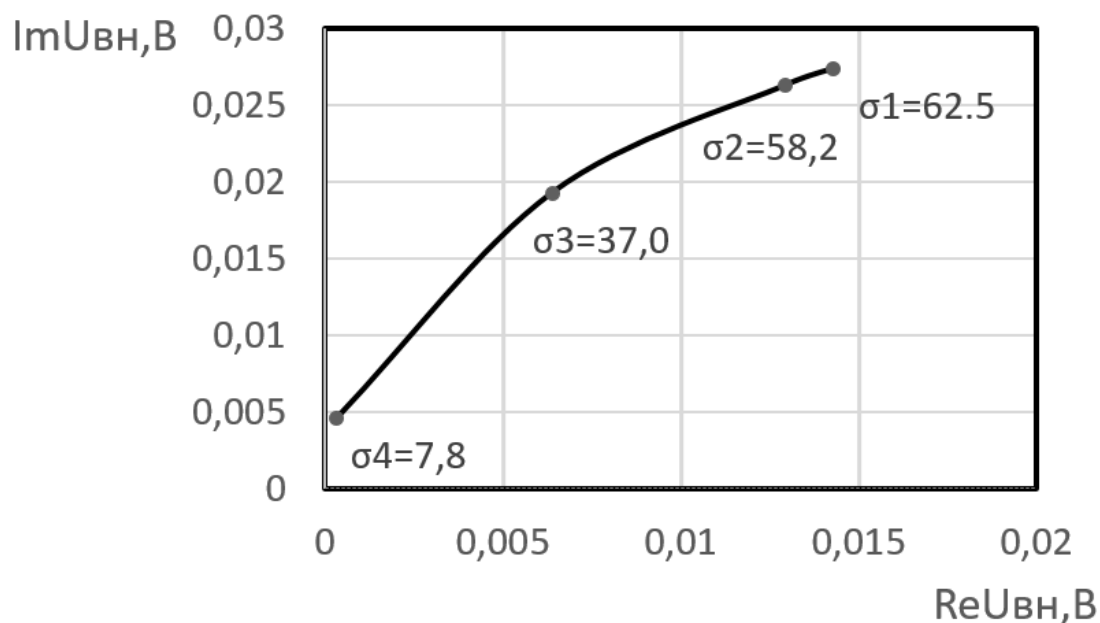
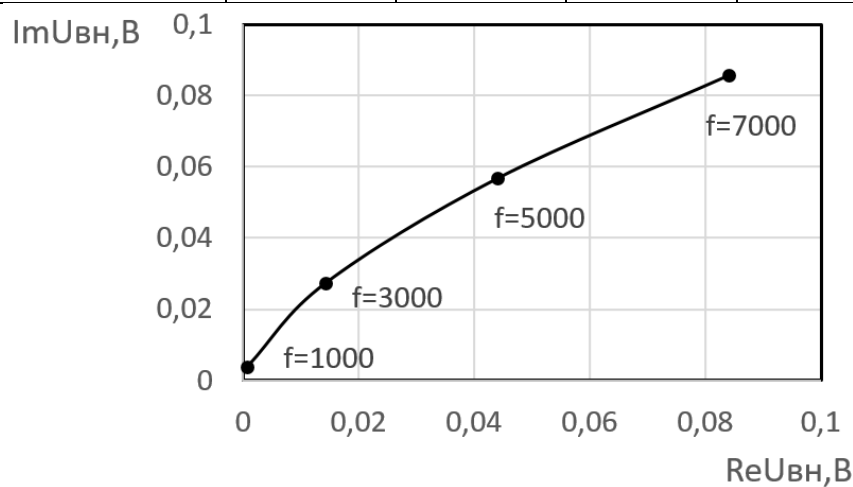


Рис.1 – График напряжения, вносимого в измерительную обмотку

Таблица 2 – Результаты расчетов напряжения для разных значений f

$D_э$, мм	0,59			
ξ	0,711			
γ , мм	5,08			
f , Гц	7000	5000	3000	1000
β	1,096	0,926	0,717	0,414
$\text{Re}(U_{вн})$, мВ	84,006	44,008	14,29	0,758
$\text{Im}(U_{вн})$, мВ	85,580	56,701	27,35	3,933

**Рис.2** – График напряжения, вносимого в измерительную обмотку**Таблица 3** – Результаты расчетов напряжения для разных значениях h_1 и h_2

$D_э$, мм	0,59		
ξ	0,711		
γ , мм	5,08		
σ , МСм/м	62,5		
h_1 , мм	0,22	0,15	0,05
h_2 , мм	0,2	0,1	0
β	0,717	0,590	0,407
$\text{Re}(U_{вн})$, мВ	14,292	3,845	0,198
$\text{Im}(U_{вн})$, мВ	27,356	14,761	3,252

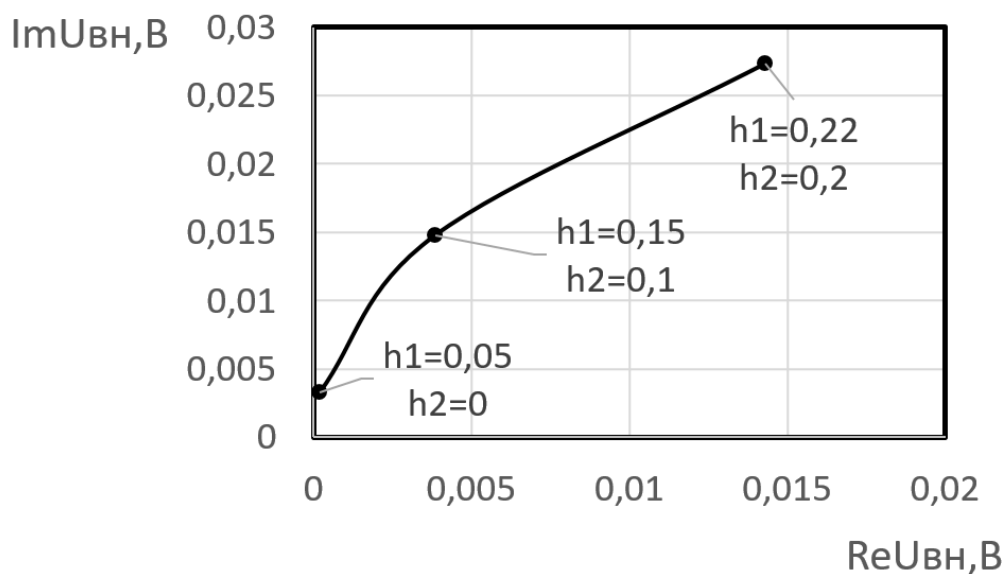


Рис.3 – График напряжения, вносимого в измерительную обмотку

В Таблице 4 представлены результаты расчетов напряжения при разных значениях h_1 и h_2 и разных материалов при $f = 3000$ Гц, по представленным в ней результатам построен график напряжения, **Рис.4**, вносимого в измерительную обмотку при разных значениях h_1 и h_2 и разных материалов с разной магнитной проницаемостью.

Таблица 4 – Результаты расчетов напряжения при разных значениях h_1 и h_2 и разных материалов

h_1	0,22				0,15				0,05			
h_2	0,2				0,1				0			
D_3	0,59				0,485				0,335			
γ	5,08				6,18				8,95			
ξ	0,711				0,515				0,149			
σ	62,5	58,2	37,0	7,8	62,5	58,2	37,0	7,8	62,5	58,2	37,0	7,8
β	0,71	0,69	0,55	0,25	0,59	0,56	0,45	0,20	0,40	0,39	0,31	0,14
$Re(U_{вн})$	14,2	12,9	6,37	0,33	3,84	3,38	1,44	0,06	0,19	0,17	0,07	0,003
$Im(U_{вн})$	27,3	26,2	19,2	4,59	14,7	13,8	9,20	1,99	3,25	3,03	1,93	0,40

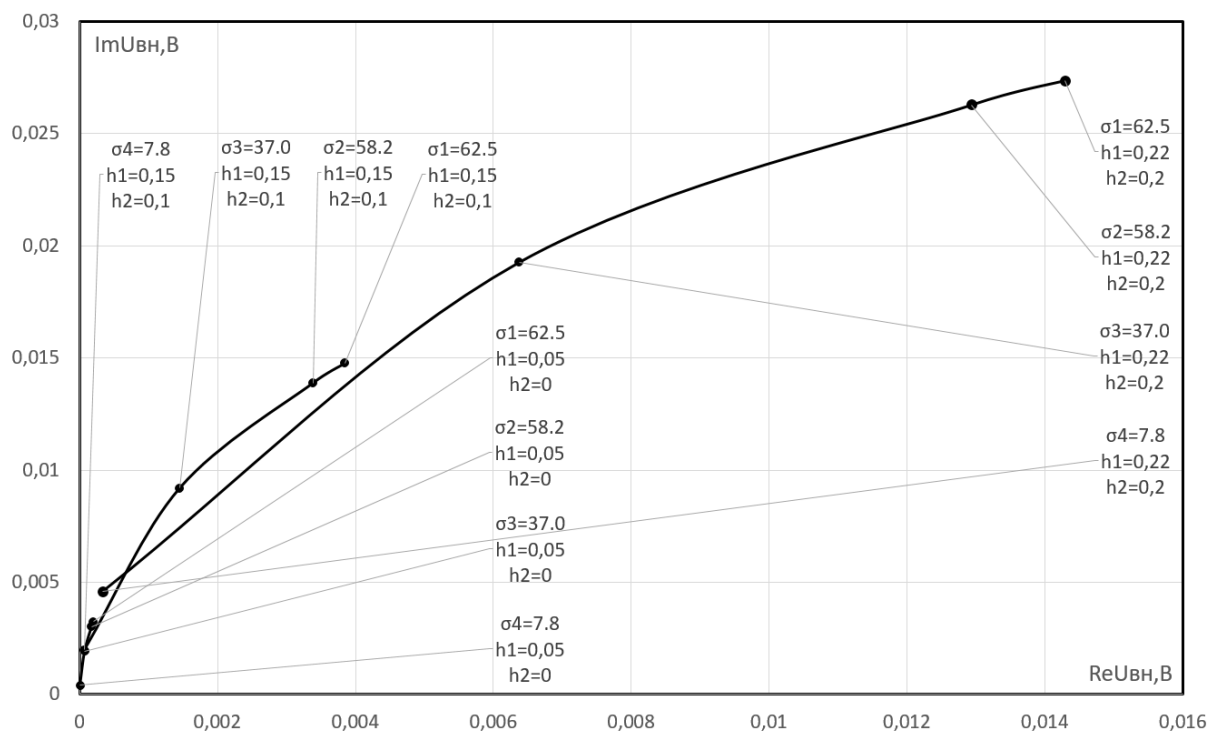


Рис.4 – График напряжения, вносимого в измерительную обмотку

В Таблице 5 представлены результаты расчетов напряжения при разных значениях h_1 и h_2 , разных материалов с разной σ и разных значений f , по представленным в ней результатам построен график напряжения, **Рис.5**, вносимого в измерительную обмотку при разных значениях h_1 и h_2 , разных материалов с разной σ и разных значений f .

Таблица 5 – Результаты расчетов напряжения при разных значениях h_1 и h_2 , разных материалов с разной σ и разных значений f

h_1	0,22				0,15				0,05			
h_2	0,2				0,1				0			
f	3000				5000				10000			
D_3	0,59				0,485				0,335			
γ	5,08				6,18				8,95			
ξ	0,711				0,515				0,149			
σ	62,5	58,2	37,0	7,8	62,5	58,2	37,0	7,8	62,5	58,2	37,0	7,8
β	0,71	0,69	0,55	0,25	0,76	0,73	0,58	0,26	0,74	0,71	0,57	0,26
$Re(U_{вн})$	14,2	12,9	6,37	0,33	15,1	13,5	6,25	0,30	6,92	6,05	2,53	0,11
$Im(U_{вн})$	27,3	26,2	19,2	4,59	36,4	34,7	24,3	5,53	34,5	32,3	21,1	4,52

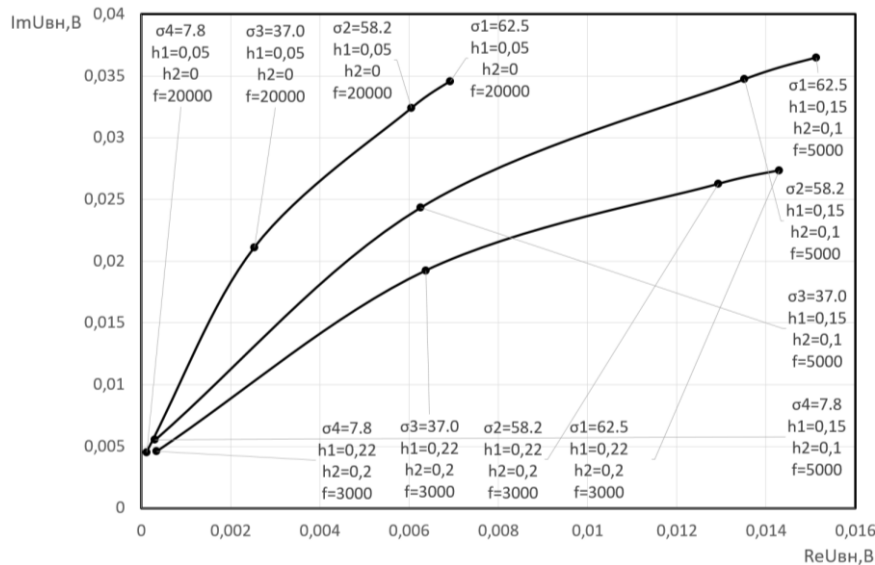


Рис.5 – График напряжения, вносимого в измерительную обмотку

Выводы:

1. Из графика, **Рис.1**, видно, что используемый для изготовления материал должен обладать наибольшим значением магнитной проницаемости для большего значения вносимого напряжения.

2. График, **Рис.2**, показывает, что чем больше f – частота поля вихревых токов, тем больше значение вносимого напряжения.

3. График, **Рис.3**, показывает, что h_1 и h_2 – расстояния от возбуждающей и измерительной обмоток до поверхности объекта контроля, который исследуется на предмет дефектов также влияют на величину вносимого напряжения: чем больше h_1 и h_2 , тем больше $U_{вн}$.

4. Из графика, **Рис.4**, видно, что одновременно уменьшая h_1 и h_2 – расстояния от возбуждающей и измерительной обмоток до поверхности объекта контроля и меняя материал, что уменьшает значение его магнитной проницаемости, то значения вносимых напряжений уменьшаются прямо пропорционально уменьшению значений h_1 и h_2 и σ .

5. График напряжения, вносимого в измерительную обмотку, **Рис.5**, при разных значениях h_1 и h_2 , разных материалов с разной σ и разных значений f показывает, что увеличением частоты поля вихревых токов можно компенсировать уменьшение расстояния от возбуждающей и измерительной обмоток до поверхности объекта контроля и материал с меньшей магнитной проницаемостью.

6. Из предыдущих выводов следует, что на вносимое напряжение влияет не только значение магнитной проницаемости материала, но и

значение частоты поля вихревых токов и расстояния от возбуждающей и измерительной обмоток до поверхности объекта контроля.

Библиографический список

1. Шубочкин А. Е. Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля / А. Е. Шубочкин – К. – Москва, 2014 – 288с.
2. Семенов. В. С. Электромагнитные методы дефектоскопии и контроля в СФТИ и Томском госуниверситете / В.С. Семенов, А.П. Рябцев, А.Е. Мудров // Вестник ТГУ. – 2003. – № 278 – С. 48-54.
3. Бобров А.Л. Основы вихретокового неразрушающего контроля: учебное пособие / А.Л. Бобров, К.В. Власов, С.А. Бехер – Новосибирск, 2019 – 102 с.
4. Лисицина И.О. Повышение достоверности дефектометрической оценки глубины близко расположенных поверхностных трещин электропотенциальным и вихретоковым методами / И.О.Лисицина, А.А.Сандуляк – М. – Москва, 2017 – 176с.
5. Ахметджанов Р.А. Вихретоковый (электромагнитный) неразрушающий контроль: учебное пособие / Р.А. Ахмеджанов – Омск: ОмГУПС, 2011. – 94 с.
6. Маликов В.Н. Контроль неоднородностей, примесей и дефектов проводящих сплавов и композиционных материалов с помощью сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей / В.Н. Маликов, А.М. Сагалаков – М. – Барнаул, 2019 – 151с.
7. Антонов А.А. Вихретоковый метод неразрушающего контроля / А.А. Антонов – М.У. – Москва, 2016 – 9с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Shubochkin A. Ye. Razvitiye i sovremennoye sostoyaniye vikhretokovogo metoda nerazrushayushchego kontrolya / A. Ye. Shubochkin – K. – Moskva, 2014 – 288s.
2. Semenov. V. S. Elektromagnitnyye metody defektoskopii i kontrolya v SFTI i Tomskom gosuniversitete / V.S. Semenov, A.P. Ryabtsev, A.Ye. Mudrov // Vestnik TGU. – 2003. – № 278 – S. 48-54.
3. Bobrov A.L. Osnovy vikhretokovogo nerazrushayushchego kontrolya: uchebnoye posobiye / A.L. Bobrov, K.V. Vlasov, S.A. Bekher – Novosibirsk, 2019 – 102 s.
4. Lisitsina I.O. Povysheniye dostovernosti defektometricheskoy otsenki glubiny blizko raspolzhennykh poverkhnostnykh treshchin elektropotentsialnym i vikhretokovym metodami / I.O.Lisitsina, A.A.Sandulyak – M. – Moskva, 2017 – 176s.
5. Akhmetdzhanov R.A. Vikhretkovyy (elektromagnitnyy) nerazrushayushchiy kontrol': uchebnoye posobiye / R.A. Akhmedzhanov – Omsk: OmGUPS, 2011. – 94 s.
6. Malikov V.N. Kontrol' neodnorodnostey, primesey i defektov

provodyashchikh splavov i kompozitsionnykh materialov s pomoshch'yu sverkhminiaturnykh vikhretokovykh preobrazovateley / V.N. Malikov, A.M. Sagalakov – М. – Barnaul, 2019 – 151s.

7. Antonov A.A. Vikhretokovyy metod nerazrushayushchego kontrolya / A.A. Antonov – М.У. – Moskva, 2016 – 9s.

¹Мирзоян Наталия Юрьевна, аспирант, младший научный сотрудник, nataly2997@mail.ru, Россия, Севастопольский государственный университет

²Балакин Алексей Игоревич, к.т.н., доцент, AIBalakin@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

³Балакина Наталья Анатольевна, старший преподаватель, NABalakina@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

EFFECT OF CHANGES IN THE PARAMETERS OF EDDY CURRENT TESTING

N.Yu. Mirzoyan, A.I. Balakin, N.A. Balakina

A mathematical model describing the influence of various parameters of the measuring circuit during eddy current control on the input voltage is considered. The simulation results are presented and their analysis is carried out, which showed the possibility of increasing the sensitivity of eddy current control by selecting the appropriate parameters.

Keywords: non-destructive testing, eddy current method, magnetic permeability, insertion voltage, field frequency, compensation.

Mirzoyan Natalia Yurievna, graduate student, junior researcher, nataly2997@mail.ru, Russia, Sevastopol State University

Balakin Alexey Igorevich, candidate of technical sciences, docent, AIBalakin@sevsu.ru, Russia, Sevastopol State University

Balakina Natalia Anatolievna, senior lecturer, NABalakina@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

УДК 615.47

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ АППАРАТ ЖИДКОСТНОГО ДЫХАНИЯ С ЗАМКНУТОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ДЫХАТЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИПоливцев В.П.¹, Пашков Е.В.², Поливцев В.В.³, Калинин М.И.⁴

Аннотация. Приведены результаты анализа конструкций и функциональных возможностей ряда относящихся к медицинской технике аппаратов искусственного жидкостного дыхания. Описана принципиальная схема, конструкция и принцип работы индивидуального аппарата, содержащего эластичные емкости для вдыхаемой и выдыхаемой жидкости, камеру ультразвуковой проточной обработки жидкости с источником ультразвукового воздействия, оксигенатор с термостатом, обеззараживающую камеру, систему замкнутой циркуляции дыхательной жидкости, включающую контуры вдоха, выдоха и ее подготовки, с подключенными к блоку управления насосами, устройствами для измерения параметров циркуляции жидкости и электромагнитными клапанами. Возникающая под действием механических ультразвуковых колебаний, кавитация жидкости вызывает выделение в виде пузырьков растворенных в ней газов азота, углекислого газа и кислорода, которые переносятся жидкостью в оксигенатор, где под воздействием создаваемых дозатором пузырьков кислорода выносятся из жидкости, накапливаются в верхней части его корпуса, а затем, при увеличении давления, удаляются через предохранительный клапан в окружающую среду.

Ключевые слова. Дыхательная жидкость, насос, ультразвуковая камера, кавитация, оксигенатор, электромагнитный клапан

Цель исследований заключается в улучшении эксплуатационных характеристик аппаратов жидкостного дыхания.

Разработанный аппарат относится к медицинской технике, а именно, к аппаратам искусственного дыхания, т.е. вентиляции легких, используемых в условиях нормо- или гипербарии.

Известен модуль жидкостного дыхания в условиях гипербарии для модельного биообъекта [1], содержащий пульсирующий насос с контурами вдоха и выдоха на базе сильфонов, соединительные трубопроводы с электромагнитными пневмораспределителями для кислорода и гидрораспределителями для дыхательной жидкости, фильтр, регенератор углекислого газа, датчик кислорода, емкость для дыхательной жидкости с упругим дном в виде сильфона, баллон сжатого кислорода, оксигенатор и блок управления.

К недостаткам модуля следует отнести сложность конструкции, большой расход кислорода, используемого не только для оксигенации, но и в качестве энергоносителя для пульсирующего сильфонного насоса, некачественная

очистка дыхательной жидкости из-за отсутствия возможности удаления из нее азота, накопление которого в организме биообъекта приводит к кессонной болезни, что сужает его функциональные возможности.

Известен аппарат жидкостного дыхания [2], содержащий дозировочный насос с приводом и блоком управления, поглотитель углекислоты, оксигенатор, стабилизатор температуры (термостат), дозатор кислорода, клапан избыточного давления, электромагнитные клапаны и присоединительные элементы (трубопроводы), к недостаткам которого следует отнести ограниченные функциональные возможности и невысокое качество очистки дыхательной жидкости вследствие невозможности удаления из выдыхаемой дыхательной жидкости растворенного в ней азота, а также необходимость иметь дополнительный источник сжатого воздуха для работы дозатора.

Известный аппарат вентиляции легких жидкостью [3] содержит мембранный насос, бак-накопитель для дыхательной жидкости с оксигенатором и термостатом, автоматические электромагнитные клапаны, блок управления и систему циркуляции дыхательной жидкости в виде двух контуров – контура подготовки дыхательной жидкости и совмещенного контура ее закачки и удаления, т.е. контура вдоха/выдоха.

К его недостаткам следует отнести ограниченные функциональные возможности вследствие неспособности удаления из выдыхаемой дыхательной жидкости растворенного в ней азота и углекислого газа, а также осуществления ее обеззараживания (дебактеризации). Кроме того, вследствие совмещения контуров вдоха и выдоха с использованием одного насоса, в подготовленную (оксигенированную) жидкость контура вдоха не исключается попадание выдыхаемой жидкости, что негативно отражается на ее качестве. Также, вследствие совмещения контуров вдоха и выдоха отсутствует возможность независимого изменения параметров циркуляции жидкости через эти контуры, таких как давление, расход, объем, что ограничивает функциональные возможности аппарата в целом.

В статье [4] отражены общие вопросы использования жидкостного дыхания, связанные с ним проблемы и пути их решения.

Задачами, на которые направлено предлагаемое техническое решение, являются расширение функциональных возможностей аппаратов жидкостного дыхания и повышение качества подготовки циркулирующей через их контуры вдоха и выдоха дыхательной жидкости.

Результаты работы.

Индивидуальный аппарат жидкостного дыхания основан на использовании замкнутой системы циркуляции дыхательной жидкости, которая включает три функционально независимых контура – контур подготовки жидкости, контур вдоха и контур выдоха.

Контур подготовки жидкости содержит перекачивающий лопастной насос 1 (**Рис.1,а**), вход которого, посредством трубопровода 2 с последовательно встроенными в него обеззараживающей камерой 3 (например, ультрафиолетовой) и фильтром 4, соединен с трубопроводом 5 контура выдоха с последовательно встроенными в него накопительной эластичной емкости 6 в виде упругой оболочки для использованной (выдыхаемой) жидкости, откачивающим лопастным насосом 7, датчиком расхода 8 и отсечным электромагнитным клапаном 9. Выход перекачивающего насоса, посредством трубопровода 25 с последовательно встроенными в него вертикально расположенной цилиндрической герметичной камеры 24 для ультразвуковой проточной обработки жидкости), снабженной источником ультразвукового воздействия 23 в виде генератора электрических ультразвуковых колебаний 32 (**Рис.1,б**) и акустически связанных преобразователя электрических колебаний в механические 33 (например, пьезоэлектрического), ступенчатого концентратора колебаний 34 и рабочего инструмента (излучателя) в форме диска 35, и далее оксигенатором 22, охваченным снаружи спиральным нагревательным элементом термостата 21, соединен с трубопроводом 18 контура вдоха с последовательно встроенными в него датчиком температуры 17, накопительной эластичной емкостью 16 для подготовленной (вдыхаемой) жидкости, аналогичной емкости для выдыхаемой жидкости, основным 14 и вспомогательным 15 закачивающими лопастными насосами, датчиком расхода 13, датчиком давления 12 и отсечным электромагнитным клапаном 11.

Выход и вход трубопроводов соответственно контуров вдоха и выдоха соединены между собой и с переходником 10 для установки эндотрахеальной трубки, а упомянутый выше оксигенатор выполнен в виде цилиндрической герметичной вертикально расположенной камеры 30 с патрубками 31 и 26 для подвода соответственно дыхательной жидкости и кислорода, и дозатором кислорода в виде перфорированной мембраны 27 в ее нижней части, а также патрубком 29 отвода жидкости, ультразвуковым датчиком уровня 20 и патрубком 28 для установки обратного (предохранительного) клапана 19 (**Рис.1,а**) в ее верхней части.

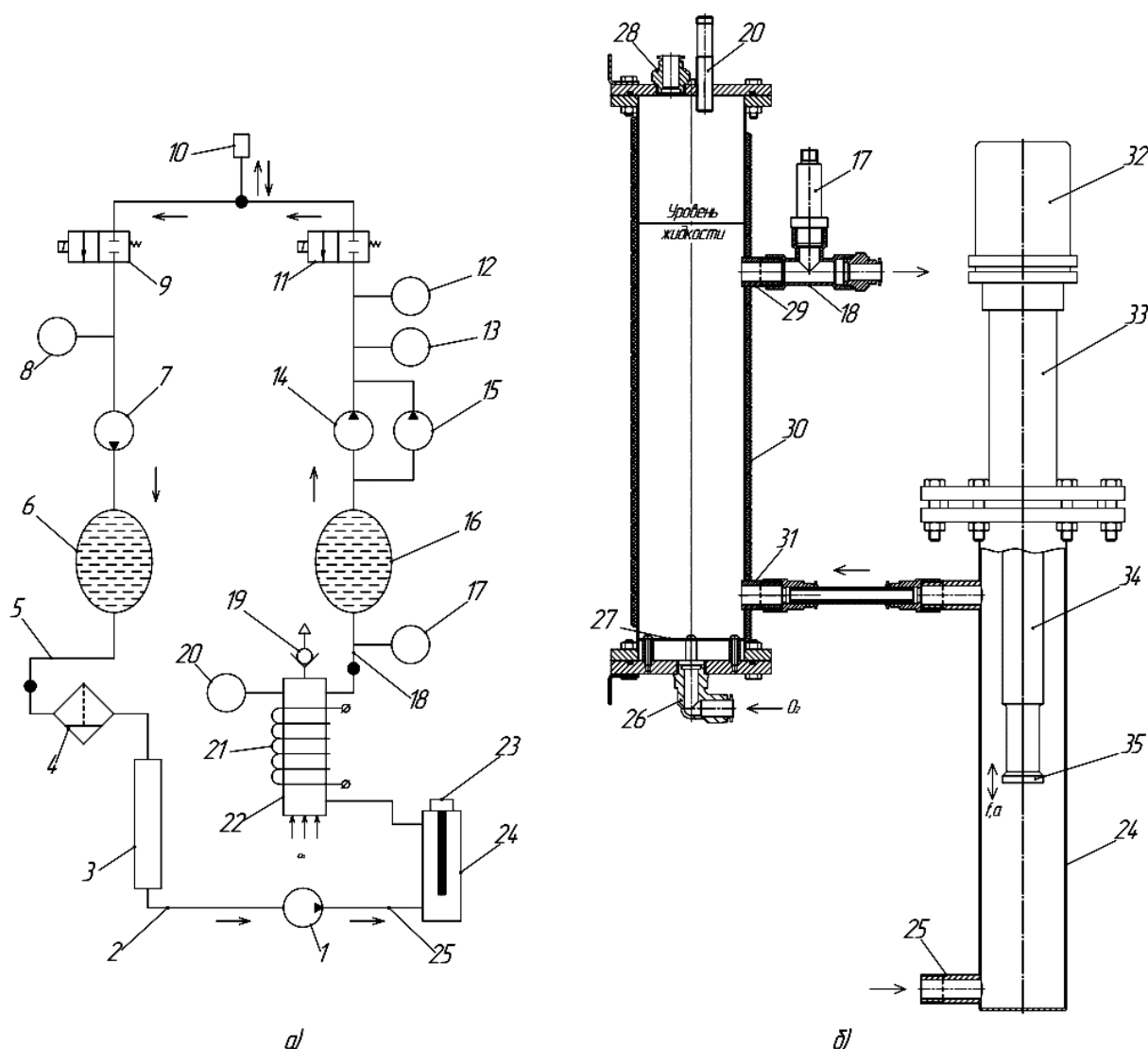


Рис.1 – Принципиальная схема аппарата (а) и конструкция камеры ультразвуковой обработки и оксигенатора (б)

Работа аппарата осуществляется следующим образом.

Перед ее началом все полости контуров заполняются подготовленной дыхательной жидкостью, например, перфторуглеродом, оксигенатор 22, посредством патрубка 26 (**Рис.1,б**), подключается к источнику кислорода либо в виде стандартного медицинского концентратора кислорода, либо баллона сжатого кислорода с редуктором давления (на схеме не показаны), а в переходник 10 (**Рис.1,а**) устанавливается эндотрахеальная трубка.

Цикл работы аппарата состоит из двух фаз – фазы вдоха, продолжительностью 2...3 секунды, и фазы выдоха, продолжительностью 4...6 секунд. Необходимое время длительности каждой из фаз устанавливается с помощью пульта блока управления (на схеме не показан). Затем в трахею вводится эндотрахеальная трубка.

Фаза вдоха реализуется при закрытом отсечном клапане 9 и выключенном насосе 7 контура выдоха и открытом отсечном клапане 11 контура вдоха. Включается основной закачивающий насос 14 и дыхательная жидкость, находящаяся в полости накопительной эластичной емкости 16, поступает по трубопроводу 18 контура вдоха к эндотрахеальной трубке. Поскольку продолжительность фазы вдоха в два раза меньше продолжительности фазы выдоха, а производительность насосов 7, 14 и 15 одинаковая, использование в контуре вдоха двух закачивающих насосов 14 и 15 обеспечивает равенство объемов жидкости, перекачиваемой через контуры.

Фаза выдоха реализуется при закрытом отсечном клапане 11, выключенных насосах 14 и 15, открытом отсечном клапане 9 и включенном откачивающем насосе 7, обеспечивающих поступление выдыхаемой жидкости в накопительную емкость 6.

Одновременно с насосом 7 включается перекачивающий насос 1 контура подготовки дыхательной жидкости, который осуществляет перекачку поступающей в емкость 6 выдыхаемой жидкости в емкость 16 контура вдоха через очистной фильтр 4, обеззараживающую камеру 3, камеру 24 ультразвуковой проточной обработки жидкости и камеру 30 оксигенатора 22.

При реализации фаз вдоха и выдоха перекачивающий насос 1 включен постоянно.

Входящий в состав проточной камеры 24 источник ультразвукового воздействия 23, создает с помощью генератора 32 ультразвуковые электрические колебания, которые преобразуются в механические ультразвуковые колебания с помощью преобразователя 33, усиливаются с помощью ступенчатого концентратора 34 продольных колебаний и вызывают колебания с частотой f и амплитудой a рабочего инструмента в виде диска 35, закрепленного на конце концентратора.

Ультразвуковые колебания диска 35 вызывают кавитацию соприкасающейся с ним жидкости, которая приводит к образованию пузырьков из растворенных в ней газов азота, углекислого газа и кислорода. Эти пузырьки выносятся потоком жидкости из полости проточной камеры 24 в полость камеры 30 оксигенатора, где подхватываются пузырьками кислорода, поступающего из отверстий дозатора 27, и выносятся в часть полости камеры 30, расположенную выше уровня находящейся в ней жидкости, который всегда выше отверстия отводящего патрубка 29. При этом часть пузырьков кислорода растворяется в дыхательной жидкости, осуществляя ее оксигенацию (обогащение).

Уровень жидкости в оксигенаторе контролируется ультразвуковым бесконтактным датчиком 20, который управляет по каналу обратной связи через блок управления работой насоса 1, увеличивая или уменьшая расход жидкости, а накапливающаяся в верхней части полости камеры 30 оксигенатора

24 смесь газов азота, углекислого газа и частично кислорода, при превышении давления срабатывания обратного клапана 19, удаляется через него в окружающую среду.

Обогащенная кислородом жидкость поступает в емкость 16 по трубопроводу 18 со встроенным датчиком температуры 17, который управляет термостатом 21, поддерживая заданную температуру жидкости, проходящей через оксигенатор.

Датчик давления 12 в контуре вдоха обеспечивает регулирование по давлению насосов 14 и 15, а датчик расхода 13 – их регулирование по расходу.

Датчик расхода 8 в контуре выдоха управляет работой откачивающего насоса 7.

Выполнение емкостей 6 и 16 эластичными в виде упругих оболочек позволяет компенсировать возникающую при работе аппарата разность объемов жидкости, протекающей через контуры вдоха и выдоха.

Заключение.

Применение в составе индивидуального аппарата камеры ультразвуковой проточной обработки дыхательной жидкости с источником ультразвукового воздействия позволяет очистить жидкость от содержания растворенных в ней углекислого газа и азота, вызывающего возникновение у биообъектов кессонной болезни, в сочетании с применением обеззараживающей камеры для выдыхаемой жидкости, существенно расширяет его функциональные возможности и улучшает качество жидкости.

Использование в системе циркуляции жидкости двух отдельных контуров вдоха и выдоха исключает попадание выдыхаемой жидкости в подготовленную для вдоха жидкость, что также позитивно отражается на ее качестве. Этому также способствует отсутствие зависимости параметров жидкости, характеризующих процесс вдоха, от параметров, характеризующих процесс выдоха, таких как объем, расход и давление; применение в составе контуров вдоха и выдоха средств контроля параметров жидкости (датчиков) в сочетании с обратной связью блока управления, позволяет поддерживать их необходимые заданные значения.

Работа выполнена при поддержке программы Приоритет – 2030 Севастопольского государственного университета (стратегический проект №2 «Прорывные исследования и разработки в области жидкостного дыхания»).

Библиографический список

1. Модуль жидкостного дыхания в условиях гипербарии для модельного биообъекта: патент RU № 203446, МПК А61Н 31/02/ Е.В. Пашков, В.П. Поливцев, Д.И. Манчук, В.В. Поливцев; опубликовано 06.04.2021, Бюл. №10.

2. Аппарат жидкостного дыхания: патент СССР № 764677, МПК А61Н 31/02/ И.А. Бачелис, В.И. Бураковский, И.А. Люкевич, В.Ф. Иванов; опубликовано 23.09.1980, Бюл. №35.
3. Аппарат вентиляции легких жидкостью: патент RU № 2732639, МПК А61Н 31/00, А61М 16/00/ Е.Ю. Бонитенко, А.А. Тоньшин, Д.В. Глухов и др.; опубликовано 21.09.2020, Бюл. №27.
4. Kaisers U. Liquid ventilation / U. Kaisers, K.P. Kelly, T. Busch // British Journal of Anaesthesia. – 2003. – 91 (1). – pp. 143-51.

Bibliograficheskiy spisok

1. Modul' zhidkostnogo dyhaniya v usloviyah giperbarii dlya model'nogo bioob'ekta: patent RU № 203446, МПК А61Н 31/02/ Е.В. Пашков, В.Р. Поливец, Д.И. Манчук, В.В. Поливец; опубликовано 06.04.2021, Бюл. №10.
2. Apparat zhidkostnogo dyhaniya: patent SSSR № 764677, МПК А61Н 31/02/ I.A. Bachelis, V.I. Burakovskij, I.A. Lyukevich, V.F. Ivanov; опубликовано 23.09.1980, Бюл. №35.
3. Apparat ventilyacii legkih zhidkost'yu: patent RU № 2732639, МПК А61Н 31/00, А61М 16/00/ Е.Ю. Бонитенко, А.А. Тон'шин, Д.В. Глухов и др.; опубликовано 21.09.2020, Бюл. №27.
4. Kaisers U. Liquid ventilation / U. Kaisers, K.P. Kelly, T. Busch // British Journal of Anaesthesia. – 2003. – 91 (1). – pp. 143-51.

¹*Поливец Виктор Петрович, к.т.н., доцент, polivcev.viktor@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

²*Пашков Евгений Валентинович, д.т.н., профессор, pashkov@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

³*Поливец Владимир Викторович, руководитель научной группы, vovapolivcev@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

⁴*Калинин Михаил Иванович, к.т.н., доцент, kalinin2710@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет*

INDIVIDUAL LIQUID BREATHING APPARATUS WITH CLOSED BREATHING LIQUID CIRCULATION

V.P. Polivtsev, E.V. Pashkov, V.V. Polivtsev, M.I. Kalinin

The results of the analysis of the designs and functionality of a number of medical devices related to artificial liquid respiration are presented. A schematic diagram, a description of the design and the principle of operation of an individual

apparatus containing elastic containers for inhaled and exhaled liquids, an ultrasonic flow-through liquid processing chamber with an ultrasonic source, an oxygenator with a thermostat, a disinfecting chamber, a closed respiratory fluid circulation system, including circuits inhalation, exhalation and its preparation, with pumps connected to the control unit, devices for measuring fluid circulation parameters and electromagnetic valves. The cavitation of the liquid arising under the action of mechanical ultrasonic vibrations causes the release of nitrogen, carbon dioxide and oxygen gases dissolved in it in the form of bubbles, which are transferred by the liquid to the oxygenator, where, under the influence of oxygen bubbles created by the dispenser, they are taken out of the liquid, accumulate in the upper part of its body, and then, with increasing pressure, they are removed through a safety valve into the environment.

Keywords: breathing fluid, pump, ultrasonic chamber, cavitation, oxygenator, solenoid valve

Polivtsev Viktor Petrovich, candidate of technical sciences, docent, polivcev.viktor@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

Pashkov Evgeny Valentinovich, doctor of technical sciences, professor, pashkov@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

Polivtsev Vladimir Viktorovich, head of the scientific group, vovapolivcev@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

Kalinin Mikhail Ivanovich, candidate of technical sciences, docent, kalinin2710@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО-ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Научный журнал

Выпуск №1(17) 2022 г.



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 21.04.2022. Заказ 018К. Дата выхода в свет: 21.04.2022. Тираж: 50 экз.
Цена: Бесплатно. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Объем усл. печ. л. 11.09.

Севастополь, 2022