

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калужский филиал МГТУ имени Н. Э. Баумана»

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ

**Материалы
Всероссийской научно-технической конференции**

Том 4



УДК 378:001.891
ББК 74.58:72
НЗ4

Руководители конференции

А. В. Царьков (директор КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана);
А.А. Столяров (зам. директора по научной работе)

Оргкомитет конференции

А. А. Столяров (председатель оргкомитета);
В.В. Лебедев (ученый секретарь);
Е. Н. Мальшев; Г. В. Орлик; Н.Е. Шубин; А. А. Жинов; Ю. П. Корнюшин;
А. И. Пономарев; А. К. Рамазанов; А. А. Анкудинов; Б. М. Логинов;
В. Г. Косушкин; В. В. Андреев; А. В. Мазин; А. А. Шубин; А. К. Горбунов;
А. В. Максимов; В.Н. Пащенко; М. В. Астахов; Е. Н. Сломинская;
О. Л. Перерва; Г. И. Ловецкий; А. Ю. Красноглазов; В. М. Алакин

НЗ4 **Научные** технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 24–26 ноября 2015 г. Т. 4. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. –324 с.

В сборнике материалов Всероссийской научно-технической конференции представлены результаты научных исследований, выполненных учеными в течение ряда лет. Систематизированы материалы различных научных школ. Результатами научных исследований являются новые методы, вносящие вклад в развитие теории, а также прикладные задачи, воплощенные в конструкции и материалы.

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72

© Коллектив авторов, 2015
© Калужский филиал МГТУ
им. Н. Э. Баумана
© Издательство МГТУ
им. Н. Э. Баумана, 2015

СЕКЦИЯ 14.

ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Н.А. Витчук, П.П. Кийко, С.А. Матвеев

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ И ОТКАЗОВ БАШЕННЫХ КРАНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Обеспечение необходимого уровня качества и надежности технических систем – задача комплексной системы управления качеством, которая охватывает все этапы жизненного цикла изделия, включая проектирование, производство и эксплуатацию. Благодаря широкому внедрению комплексных систем управления качеством продукции повышается качество изделий, появляются новые виды изделий, отвечающие современным требованиям.

Статистические методы управления качеством являются неотъемлемой частью комплексной системы управления качеством машиностроительной продукции. Они являются достаточно информативными, позволяют агрегировать полученную информацию, представить ее в наглядном для исследователя виде и сделать соответствующие выводы по результатам анализа.

Существует большое разнообразие статистических методов управления качеством. К ним можно отнести графические модели (гистограмма, диаграмма Парето, Исикавы, контрольные карты), а также модели регрессионного и дисперсионного анализов, теории планирования эксперимента, оценивания и проверки гипотез [1].

Роль методов управления качеством на всех этапах жизненного цикла продукции пока неочевидна в полной мере. Многие отечественные предприятия и организации лишь фрагментарно используют выше перечисленные и другие методы управления качеством, хотя они являются удобным и дешевым инструментом анализа данных, позволяющих совершенствовать производимую продукцию, повысить показатели надежности и период эксплуатации изделий.

Рассмотрим пример использования статистического метода управления качеством – диаграммы Парето для анализа дефектов и отказов башенных кранов в Калужской области.

Диаграмма Парето – это разновидность столбчатой диаграммы с нанесенной на ней кумулятивной кривой в целях наглядного отображения рассматриваемых факторов в порядке уменьшения характеристик их значимости [2]. Диаграмма названа в честь итальянского экономиста В.Парето (1845– 1923), который утверждал, что 20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий реализуют лишь 20% [3]. Однако идея применения этой диаграммы для анализа причин возникновения дефектов и отказов и разработки путей совершенства качества принадлежит Дж. Джурану (1904–2008) [3]. Кроме того, в 1979 г. японский союз ученых и инженеров включил диаграмму Парето в состав семи основных методов контроля качества:

1. Контрольный листок.

2. Гистограмма.
3. Расслоение (стратификация) данных.
4. Причинно-следственная диаграмма Исикавы.
5. Диаграмма Парето.
6. Диаграмма разброса.
7. Контрольная карта [4].

Цель данного метода – выявление проблем, подлежащих первоочередному решению. В данном случае диаграмма Парето позволит определить, какие дефекты и отказы приводят к выходу из строя в процессе эксплуатации и какие основные составляющие башенных кранов требуют совершенствования на этапе проектирования и производства. Кроме того, могут быть разработаны методы по предупреждению возникновения отказов в процессе эксплуатации грузоподъемных машин.

Исходные данные для построения диаграммы представлены в табл.1. Данные по дефектам и отказам башенных кранов условно классифицированы по группам на основе дефектных ведомостей за последние 5 лет.

Таблица 1. Контрольный листок регистрации дефектов и отказов башенных кранов

Группа данных	Количество дефектов (отказов)
Металлоконструкция	310
Механизмы	250
Опорно-поворотное устройство	106
Канатно-блочная система	283
Электрооборудование и приборы безопасности	379
Прочие дефекты и отказы	96
Всего	1424

Диаграмма Парето по дефектам и отказам башенных кранов представлена на рис. 1. Преимуществом диаграммы Парето является то, что она дает возможность разгруппировать факторы на значительные, то есть те, которые оказывают наиболее существенное влияние на целевой показатель (надежность машины), и незначительные. Значительные факторы требуют устранения в первую очередь. После чего необходимо еще раз построить диаграмму Парето и на ее основе сделать выводы об улучшении качества изделий по анализируемым параметрам.

Анализ диаграммы Парето строится таким образом: факторы, значения которых превышают пороговое значение 80%, оказывают наиболее существенное влияние на целевой показатель [1]. В данном случае дефекты и отказы электрооборудования и приборов безопасности, а также металлоконструкции и в меньшей степени канатно-блочной системы снижают надежность башенных кранов и сокращают период их эксплуатации. Более подробное исследование причин дефектов и отказов по каждой из перечисленных групп на основе статистических методов управления каче-

ством позволит снизить их влияние на общий целевой показатель – надежность грузоподъемных машин.

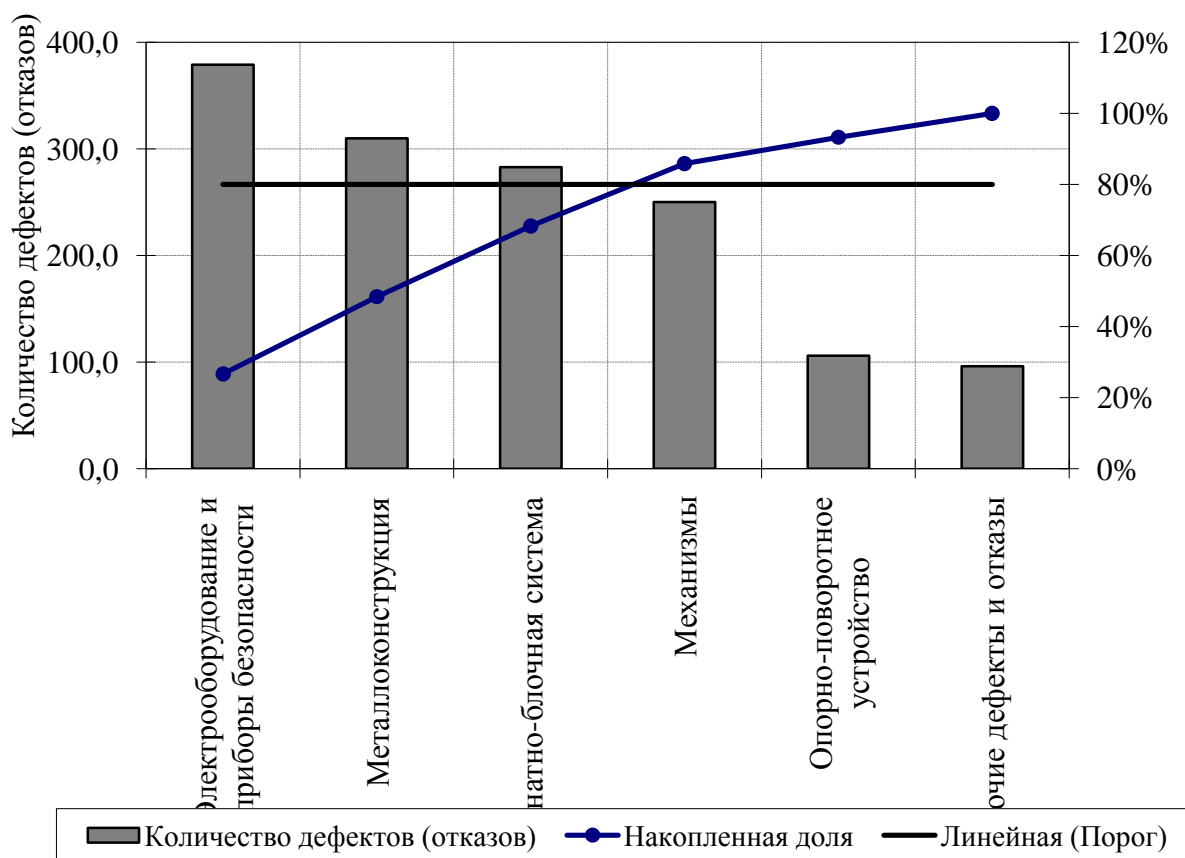


Рис. 1. Диаграмма Парето по группам дефектов и отказов башенных кранов

Литература

1. Пономарев С.В., Мищенко С.В. Инструменты и методы менеджмента качества: учеб. пособие. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2005. 248 с.
2. Федюкин В.К. Управление качеством процессов. СПб.: Питер, 2004. 208 с.
3. Глудкин О.П., Горбунов Н.М., Гуров А.И. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1999. 600 с.
4. Николаева Э.К. Семь инструментов качества в японской экономике. М.: Издательство стандартов, 1990. 88 с.
5. Плотникова И.В., Редько Л.А. Применение статистических методов на производстве // Стандарты и качество. 2015. №3. С.62-65.

Витчук Наталья Андреевна — ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vitchuk.natalya@yandex.ru.

Кийко Павел Петрович – инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: 1984707@gmail.com.

Матвеев Сергей Анатольевич – инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: matveev@ritc-k.ru.

С.Л. Заярный, С.В. Натальчук

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ КОНСТРУКЦИИ ЛЕГКОЙ КРАНОВОЙ СИСТЕМЫ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрен вопрос определения оптимальной схемы металлоконструкции легкой крановой системы на начальном этапе проектирования [1], [2]. Рекомендации по выбору оптимальной схемы крана даны с учётом следующих свойств крановой системы: высота подъёма до 4 м; длина и ширина пролёта до 8 и 12,5 м соответственно; малая металлоёмкость; универсальность и простота монтажа крана.

При проектировании лёгких крановых систем в современных условиях конструктор располагает целым рядом различных конструктивных решений и схем, применявшихся в различных моделях кранов. Каждая конкретная схема определяет область применения крановой системы, ее рабочие характеристики и стоимость. В настоящее время при проектировании лёгких крановых систем в основном используют следующие типы кранов: стреловые краны, мостовые краны, консольные краны, а также монорельсовые краны. Легкие крановые конструкции базируются на использовании оптимизированных стальных профилях, скрепленных болтовыми креплениями, что позволяет: создавать краны грузоподъемностью до 20 кН; уменьшить время установки и обеспечить приспособляемость к изменяющимся потребностям планировки помещений; увеличить расстояние между креплениями и опорами; защитить профиль от загрязнений. Использование свободно стоящих опорных рам обеспечивает установку крана в местах, где стены и потолок не могут нести дополнительную нагрузку.

Критериями оптимальности при выборе схемы конструкции легкой крановой системы на начальном этапе проектирования являются:

- Широкая область применения крановой системы, возможность использования как в закрытых цехах, так на открытых стройплощадках;
- Модульность системы и высокая степень унификации узлов;
- Простота установки и дальнейшей эксплуатации;
- Малая металлоёмкость.

Таким образом рекомендуется выбрать мостовой подвесной кран. Данная схема лёгкой крановой системы является оптимальной в виду своей простоты, универсальности и множеству вариантов исполнения.

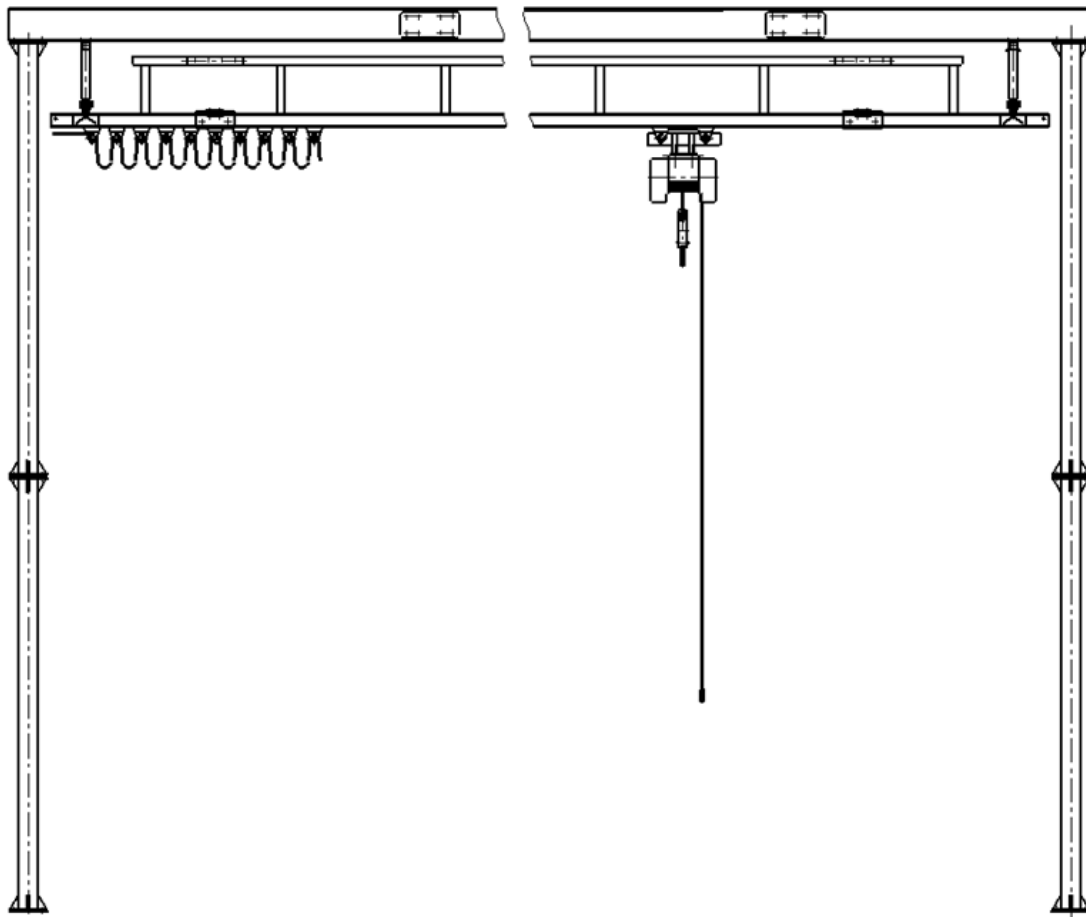


Рисунок 1 -пролёт мостового подвесного крана

Одной из основных задач при проектировании лёгких крановых систем является задача параметрической оптимизации поперечных сечений элементов металлоконструкции моста и концевых балок. Такая задача решается при помощи метода Хука – Дживса с применением метода конечных элементов для анализа напряженно-деформированного состояния металлоконструкции.

Легкие крановые системы не предполагают больших нагрузок и тяжёлых режимов работы, поэтому возможно ее модульное исполнение с применением унифицированных модулей. При этом в конструкции подвесного мостового крана целесообразно использовать модули длиной 2 м и весом до 30 кг рис. 2.

Металлоконструкции концевых балок повторяют конструкцию моста, что также предполагает их модульное исполнение. Такое решение значительно повышает степень унификации крановой системы и уменьшает металлоёмкость. Габариты и вес модулей обеспечивают лёгкость транспортировки и возможности сборки и установки крана без применения специальных грузоподъёмных механизмов силами нескольких рабочих. Ещё одной особенностью модульной конструкции является возможность гибко регулировать размеры крана путем добавления или удаления модулей.

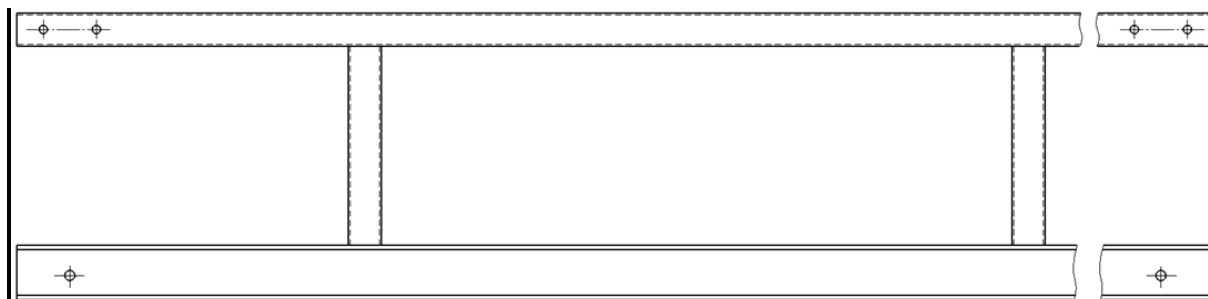


Рисунок 2 - модуль моста

Особенностью конструктивного исполнения моста крана является применение в качестве направляющей каретки грузоподъемного механизма не двутавра, а специального скобообразного профиля рис.3. При этом перемещение роликов каретки осуществляется внутри профиля, а его шестиугольная форма обеспечивает их самоцентрирование.



Рисунок 3 -форма профиля направляющей

В случае возникновения потребности в использовании легкой крановой системы на открытых площадках с естественным профилем или на объектах с некоторыми перепадами высот предлагается использование специальных телескопических опор пролётов. Их конструкция позволяет менять высоту отдельного пролёта в пределах 0,4 м, что дает возможность выровнять концевые балки без необходимости выравнивания рабочей площадки.

В общем случае, для определения оптимальной схемы конструкции лёгкой крановой системы необходимо определить требуемые характеристики и сопоставить их с критериями оптимальности. При дальнейшем проектировании конструкции крановой системы необходимо произвести необходимые расчеты металлоконструкции и исследовать ее на возможность модульного исполнения, уменьшения металлоёмкости без ухудшения характеристик, а также максимально унифицировать все узлы конструкции.

Литература

1. Гохберг М.М. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. - М.: Машиностроение, 1969. — 520 с.
2. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно транспортных машин: учеб. пособие / С.А.Соколов. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.

Заярный Сергей Леонидович— канд. техн. наук, доцент кафедры "Детали машин и подъемно-транспортное оборудование" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: texnakon@yandex.ru.

Натальчук Сергей Виктоович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Svnat92@gmail.com.

В.И. Сероштан, Д.М. Глазунов

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛИФТОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Все неисправности и отказы, возникающие при эксплуатации лифтов, сопровождаются, как правило, изменениями функциональных показателей, например, потерей тяговой способности канатоведущего шкива лебедки лифта, снижением мощности электродвигателя и т.д. Эти сопутствующие неисправности и вызванные ими отказы могут служить параметрами технического состояния вплоть до количественной оценки. Параметры эти бывают структурными и диагностическими. Структурные параметры характеризуют непосредственно техническое состояние и работоспособность объекта диагностирования (износ, остаточные деформации и др.). Диагностические параметры косвенно характеризуют работоспособность объекта диагностирования (шум, вибрация, мощность электродвигателя и др.)

Параметры технического состояния должны отвечать требованиям однозначности, широты измерения, доступности, удобства измерения, информативности и технологичности. Однозначность – это соответствие каждого значения диагностического параметра вполне определенному уровню работоспособности объекта. Доступность и удобство измерения диагностического параметра определяются конструкцией объекта диагностирования, а также средствами контроля. Информативность параметра диагностирования снижает неопределенность знаний о техническом состоянии лифта. Технологичность измерения параметра диагностирования определяется удобством подключения диагностической аппаратуры, простотой измерения и обработки их результатов, а также трудоемкостью и стоимостью диагностирования.

Основной целью технического диагностирования лифтов является сокращение трудовых, временных и материальных затрат на их ремонт и предотвращение преждевременных ремонтов. Достижение этой цели может быть осуществлено решением частных задач, например: корректировкой сроков проведения технического обслуживания и ремонта, увеличением наработки лифта на отказ, получением информации о фактическом техническом состоянии структурных единиц и лифта в целом, сокращением потребности в запасных деталях и узлах путем заблаговременного их ремонта или приобретения новых. Из приведенных задач следует, что значительный эффект от технического диагностирования достигается при организации ремонта лифтов «по потребности». Диагностирование эффективно в тех случаях, когда затраты на его проведение будут меньше экономии, получаемой в результате уменьшения расходуемых запасных деталей и сокращения трудовых затрат на ремонт. При этом увеличивается продолжительность использования лифта по назначению.

Лифт, как объект диагностирования, имеет множество признаков и параметров, характеризующих его техническое состояние, и предопределяющих применение методов диагностирования. С другой стороны, количество параметров должно быть таким, чтобы информация, полученная с их помощью, была достаточной для полной характеристики технического состояния и работоспособности диагностируемого объекта. Методика выбора параметров диагностирования должна гарантировать определение минимального объема операций диагностирования, позволяющих в условиях эксплуатации выявить любую неисправность и получить качественную, а при необходимости и количественную оценку работоспособности лифта.

В настоящее время не существует однозначной и принятой в качестве нормативного документа, методики определения технического состояния лифтов. В качестве диагностических параметров некоторые авторы принимают параметры, проверка которых предусмотрена техническим обслуживанием, лишь незначительно расширяя их объем, который является далеко недостаточным. Опубликован ряд теоретических работ, посвященных определению состава диагностических параметров для контроля функционирования и поиска повреждений и неисправностей в узлах и системах грузоподъемных машин.

В некоторых исследованиях реальный объект заменяется математической моделью, удовлетворяющей определенные условия. Задача представления реального диагностируемого объекта математической моделью является сложной. Применение разработанных алгоритмов при этом для определения минимальной совокупности параметров затруднено, особенно при анализе сложных объектов диагностирования, каким является лифт. Специфика структуры и эксплуатации лифта, а также отсутствие значительного количества исходных данных не позволяют эффективно использовать вышеупомянутые методы для диагностирования лифтов.

В процессе диагностирования таких объектов необходимо получать информацию о параметрах, характеризующих его внутреннюю структуру, например, изменение геометрических размеров деталей, величину износов и т.д. Непосредственное измерение таких параметров без разработки агрегатов в большинстве случаев не представляется возможным. Поэтому информацию о техническом состоянии лифта, его узлов и систем целесообразно искать в параметрах процессов, порождаемых работающим лифтом. Если исключить влияние внешних условий, то можно утверждать, что всякое изменение состояния диагностируемого объекта приводит к изменению параметров текущих процессов.

Внешние признаки изменения структурных параметров объектов диагностирования принято называть симптомами. Поскольку каждая неисправность, как правило, при работе анализируемой системы проявляется через вполне определенные симптомы или комбинации этих симптомов, то выбор диагностических параметров должен базироваться на логическом анализе комбинации симптомов с комбинациями неисправностей. При этом желательно добиться

эквивалентности множеств неисправностей и множеств симптомов, чтобы все неисправности можно было бы определить через симптомы.

Свойственные диагностическому процессу логические понятия можно разделить на три категории: инженерные знания диагноста, дефекты, неисправности и отказы объекта диагностирования и окончательный результат. Благодаря инженерным знаниям диагноста можно располагать определенной информацией о связи между симптомами и неисправностями. Это позволяет проводить анализ статистических данных по отказам и неисправностям, выявленным в процессе эксплуатации лифтов. Такой анализ позволит выявить недостаточно надежные узлы и подсистемы, которые подлежат диагностированию и составить блок-схемы структурно-следственных связей по уровням. При определении перечня объектов диагностирования необходимо оценить возможность и целесообразность разработки технических средств диагностирования.

Примером диагностического параметра лифтовой лебедки может быть межвитковое замыкание в обмотках электродвигателей, катушках тормозного электромагнита и т.д. Установлено, что в большинстве случаев (85-95%) отказы лифтовых электродвигателей происходят из-за повреждений обмоток статора, которые распределяются в среднем следующим образом: межвитковые замыкания – 93%, пробой изоляции на корпус – 2%, обрыв проводниковой обмотки статора – 1%, пробой межфазной изоляции – 4%. Это указывает на то, что основное внимание в асинхронных электродвигателях должно быть уделено контролю межвитковой изоляции обмоток статора. При этом основными повреждениями электродвигателей являются межвитковые замыкания и пробой межфазной изоляции. Обнаружить короткозамкнутые витки можно с помощью универсального катодного вольтметра АЧ-М2 или другого аналогичного прибора. Чувствительность измерения зависит от процента короткозамкнутых витков в обмотке и величины переходного сопротивления в зоне замыкания. Такой вид контроля не требует разборки электродвигателя, однако имеет недостаточную чувствительность, требует специальной подготовки и высокой квалификации электромеханика.

Одним из способов решения этой проблемы является создание специальных приборов диагностирования, имеющих высокую чувствительность, малые габаритные размеры, небольшую массу, простоту пользования при диагностировании и позволяющих обслуживающему персоналу невысокой квалификации быстро определять наличие короткозамкнутых витков. Контроль электрической прочности изоляции обмоток статора электродвигателей, находящихся в эксплуатации, целесообразно производить с помощью переносного малогабаритного генератора, обеспечивающего высоковольтное напряжение. В соответствии с требованием ГОСТа электрическая прочность изоляции определяется при действии повышенного напряжения, возникающего между обмотками и корпусом, а также между фазами.

Причины отказов и неисправностей обмоток электромагнитов тормозов лифта в значительной мере аналогичны причинам отказов обмоток статора электродвигателя, а именно: недостаточное качество изоляции, приво-

дящее к образованию короткозамкнутых витков, замыканию на корпус и межфазовым замыканиям. Отказы, вызывающие нарушение работы тормозов лебедки в основном связаны с выходом из строя растормаживающего магнита с износом тормозных накладок, усталостным разрушением тормозной пружины или изменением начальной регулировки тормозного усилия и соответственно тормозного момента. Если износ тормозных накладок представляет собой довольно детерминированный процесс, зависящий от интенсивности работы лифтовой установки, то выход из строя растормаживающих магнитов подчиняется статистическим закономерностям, зависящим от типа тормозного электромагнита. Наименее надежны в работе магниты переменного тока, реже выходят из строя магниты постоянного тока типа МП-201. Выход из строя электромагнита тормоза связан либо с разрушением механической системы связи якоря с рычажной системой, либо, что случается значительно чаще, со сгоранием обмотки электромагнита.

Изменение технического состояния тормоза обычно происходит постепенно. Внезапность отказов в большинстве случаев случается чисто условной. При наличии средств и методов диагностирования возникновение отказов можно предвидеть и предотвратить. Основным критерием, определяющим работоспособность тормоза лебедки лифта, является величина его тормозного момента. Если тормозной момент лифта в процессе эксплуатации становится недостаточным, то нарушается точность остановки кабины, что приводит к проходу ею крайних нормативных положений. Чрезмерный тормозной момент влечет за собой более резкое торможение кабины и ухудшение комфортности лифта. Инструментальная оценка общего технического состояния лифтового тормоза приводится по параметрам тормозного момента замедления (торможения) и пути торможения. Визуальную работу тормозного устройства лифта можно оценивать по точности остановки кабины.

Приведенные примеры отказов лифтовых электродвигателей и тормозов иллюстрирует сложные взаимосвязи отказов и диагностических параметров в виде межвитковых замыканий в обмотках электродвигателей и катушках тормозов. Решающую роль в обеспечении работоспособности обмоток играет качество изоляции. Другим важным диагностическим параметрам тормоза является его тормозной момент.

Литература

1. Волков Д.П. Надежность лифтов и технология их ремонта/Д.П. Волков, П.И. Чутчиков. - М.: Стройиздат, 1985-128с.
2. Волков Д.П. Диагностирование узлов и подсистем лифтов/Д.П. Волков, П.И. Чутчиков, А.К. Прокофьев. – М.: Стройиздат, 1981-132с.

Сероштан Владимир Иванович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: swi77@yandex.ru.

Глазунов Дмитрий Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: glapple@yandex.ru.

П.В. Витчук, В.А. Подгорбунский, К.А. Фарафонтова

К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ОГРАНИЧИТЕЛЯ СКОРОСТИ С ИНЕРЦИОННЫМ РОЛИКОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Ограничитель скорости представляет собой автоматическое устройство, предназначенное для приведения в действие ловителей при аварийном превышении скорости движения кабины (противовеса) вниз [1].

Ограничители скорости классифицируют [2]: по принципу действия: центробежного типа и с инерционным роликом (по [3] – маятникового типа); по расположению оси вращения устройства, контролирующего превышение скорости: с вертикальным (шпиндельного типа) и с горизонтальным расположением оси вращения.

В отечественной практике используют ограничители скорости центробежного типа с горизонтальной осью вращения. Их конструкция и методы расчета достаточно хорошо известны и широко представлены в имеющейся литературе [2-5].

В зарубежной практике, наоборот, преимущественно применяют ограничители скорости с инерционным роликом. Такими ограничителями оборудуются лифты фирм OTIS («ОТИС», США), Schindler («Шиндлер», Швейцария), KONE («Коне», Финляндия) и др. В нашей стране они не применялись, так как не соответствовали требованиям ПУБЭЛ [6]. Поэтому в отечественных литературных источниках практически отсутствует описание подобных конструкций.

Так, в [5] приводится описание принципа работы ограничителя скорости сильно устаревшей (более 60 лет) конструкции ограничителя скорости фирмы KONE. В переводной монографии [3], написанной профессором Л. Яновски (Чехия), приводится краткое описание конструкции и принципа работы ограничителя скорости с инерционным роликом и восьмигранным диском. В [2] аналогичный ограничитель скорости не только описан, но и составлена его расчетно-конструкционная схема, а также представлены зависимости, которые, вероятно, могут быть положены в основу для расчета.

В настоящее время со введением в действие Технического регламента таможенного союза ТР ТС 011/2011 «Безопасность лифтов» от 18 октября 2011 года и ГОСТ Р 53780-2010 (основан на европейских стандартах EN81-1 и EN81-2), а также расширением сферы использования лифтов зарубежных фирм, рациональной видится разработка расчетной схемы и методики расчета подобных ограничителей скорости.

Несомненно, расчет должен базироваться на следующих основных требованиях, предъявляемых ГОСТ Р 53780-2010 к ограничителям скорости:

1) Ограничитель скорости, приводящий в действие ловители кабины, должен срабатывать, если скорость движения кабины вниз превысит номинальную не менее чем на 15 % и составит не более:

- а) 0,8 м/с – для ловителей резкого торможения;
- б) 1,5 м/с – для ловителей плавного торможения и ловителей резкого торможения с амортизирующим элементом при скорости не более 1 м/с;
- в) $1,25V + 0,25 / V$ м/с для ловителей плавного торможения при номинальных скоростях более 1,0 м/с, где V – номинальная скорость кабины, м/с.

2) Ограничитель скорости, приводящий в действие ловители противовеса или уравнивающего устройства кабины, должен срабатывать, если скорость движения противовеса или уравнивающего устройства кабины вниз превысит номинальную не менее чем на 15 % и не более чем на значение, превышающее на 10 % верхний предел скорости, установленный для срабатывания ограничителя скорости кабины.

3) Диаметр каната, приводящего в действие ограничитель скорости, должен составлять не менее 6 мм; коэффициент запаса прочности каната ограничителя скорости должен быть не менее 8.

4) Отношение диаметра шкива (блока) к диаметру каната, приводящего в действие ограничитель скорости, должно быть не менее 30. Для лифтов со скоростью движения до 1,6 м/с это отношение допускается не менее 25.

5) Канат, приводящий в действие ограничитель скорости, должен натягиваться натяжным устройством.

6) Ограничитель скорости должен иметь устройство для проверки его работоспособности при движении кабины (противовеса) с номинальной скоростью.

7) Ограничитель скорости, у которого усилие включения ловителей создается за счет сил трения между канатом и шкивом, должен иметь устройство для проверки достаточности силы трения.

8) Ограничитель должен иметь выключатель, контролирующий его срабатывание.

Составление расчетно-конструкционной схемы (рис. 1) и вывод основных расчетных зависимостей базируется на:

- 1) анализе конструкции ограничителя скорости с инерционным роликом и восьмигранным диском фирмы Schindler;
- 2) расчетно-конструкционной схеме ограничителя скорости с инерционным роликом четырехгранным диском с нижним расположением приводного рычага [2] и описании принципа работы ограничителя скорости с инерционным роликом и восьмигранным диском [3];
- 3) уравнениях равновесия сил, действующих относительно оси вращения рычага [2].

Основу конструкции ограничителя скорости с инерционным роликом составляет шкив 2, свободно вращающийся на оси, закрепленной в опорной раме 10. На задней стороне шкива имеется восьмигранный диск 3 со скругленными вершинами, по поверхности которого катится ролик 4 с резиновым ободом. Ролик установлен на конце равноплечего качающегося рычага 5, противоположный конец которого выполнен в форме зуба 6. На торцевой части восьмигранного диска 3 имеются упоры 7 клиновидной формы.

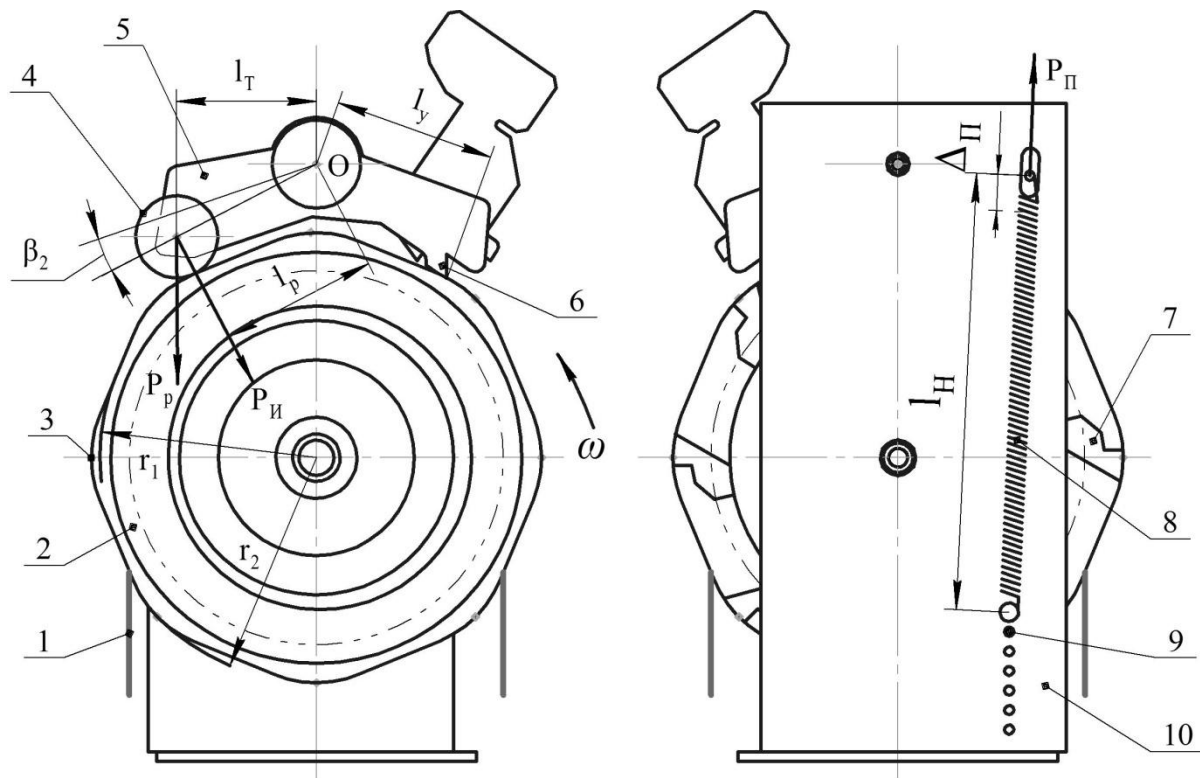


Рис. 1. Расчетно-конструкционная схема ограничителя скорости с инерционным роликом: 1 – канат; 2 – шкив; 3 – восьмигранный диск; 4 – ролик; 5 – рычаг; 6 – зуб рычага; 7 – упор; 8 – пружина; 9 – регулировочные отверстия пружины; 10 – опорная рама; P_p и P_{II} – сила тяжести и сила инерции ролика, направление которой определяется фазой его колебания; P_{II} – сила сжатия пружины; l_y , l_{II} и l_p – постоянные расстояния от оси рычага; l_T – плечо силы тяжести ролика от оси вращения рычага; r_1 и r_2 – максимальное и минимальное значение радиуса положения ролика на поверхности восьмигранного диска; l_H и Δ_{II} – длина пружины в состоянии начального сжатия и ее упругая деформация, соответствующая моменту сцепления зуба рычага с упором шкива.

Ролик прижимается к ободу восьмигранного диска усилием предварительно сжатой пружины 8 так, что при вращении шкива с номинальной скоростью он следит за его поверхностью, совершая вынужденные кинематические колебания относительно оси рычага. Сила начального натяжения пружины уравнивает действие силы тяжести ролика и действие инерционной силы при номинальной частоте вращения.

При аварийном превышении скорости, под действием сил инерции, ролик 4 отрывается от поверхности диска и зуб 6 сцепляется с упором 4, останавливая шкив. Работа ограничителя контролируется выключателем, который приводится в действие в момент сцепления зуба 6 с упором 7. Контроль достаточности сил сцепления каната с ободом шкива ограничителя скорости осуществляется путем нажатия на специальный кронштейн, закрепленный на рычаге со стороны ролика. Зуб 6 сцепляется с упором 7 и

останавливает шкив. Все происходит так, как и при нажатии на подвижный упор ограничителя скорости центробежного типа.

При равномерном вращении шкива ограничителя скорости ролик совершает кинематические колебания, перекатываясь по поверхности восьмигранника. Рычаг совершает угловые колебания относительно неподвижной точки O .

Пусть закон изменения перемещения ролика может быть описан некоторой зависимостью от времени t :

$$S_P = f(t), \text{ м}, \quad (1)$$

Тогда скорость колебаний ролика:

$$V_P = \frac{dS_P}{dt}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

Ускорение колебаний ролика:

$$a_P = \frac{dV_P}{dt} = \frac{d^2S_P}{dt^2}, \text{ м/с}^2. \quad (3)$$

Сила инерции ролика имеет направление противоположное ускорению и в любой момент может быть рассчитана:

$$P_{II} = ma_P, \text{ Н}, \quad (4)$$

где m – масса ролика, кг.

Очевидно, что максимальное значение силы инерции, отрывающей ролик от поверхности восьмигранника, имеет место в момент максимальной амплитуды перемещения ролика. Следовательно, сила предварительного сжатия пружины для номинальных оборотов шкива должна определяться для момента, когда ролик находится на вершине восьмигранника с учетом уравновешивания силы тяжести ролика.

Исходя из предположения, что плечи рычага взаимно уравновешены, определим силу предварительного сжатия пружины при амплитудном значении силы инерции:

- при номинальной скорости:

$$\sum M_O = 0: P_{II}^H = \frac{P_P l_P \cos(45^\circ - \beta_2) + ma^H l_P}{l_{II}}, \text{ Н}, \quad (5)$$

где P_P – сила тяжести ролика, Н; β_2 – угловое перемещение рычага при перемещении ролика из исходного положения на плоской грани на вершину диска, град.; $a^H = 2(r_1 - r_2)V_H^2 / D_P^2$ – величина ускорения при номинальной скорости движения кабины V_H ; D_P^2 – диаметр рабочего ручья шкива, м.

- при предельной скорости:

$$P_{II}^{\Pi} = \frac{P_P l_P \cos(45^\circ - \beta_{II}) + ma_0^{\Pi} l_P}{l_{II}}, \text{ Н}, \quad (6)$$

где $\beta_{II} \approx \beta$ – угол отклонения рычага при предельном ускорении ролика, когда зуб сцепляется с упором; $a^{II} = 2(r_1 - r_2)V_{II}^2 / D_P^2$ – ускорение при предельной скорости движения кабины V_{II} .

Рабочая деформация пружины Δ_{II} при изменении инерционной силы от номинального до предельного значения может быть определена для крайних положений ролика в зависимости от конструкции рычажной системы.

Пружину подбирают по жесткости:

$$C = \frac{P_{II}^{\Pi} - P_{II}^H}{\Delta_{II}}, \text{ Н/м.} \quad (7)$$

После этого пружину рассчитывают на прочность.

Следует отметить, что в реальной конструкции плечи рычага не уравновешены. Это очевидное конструктивное решение – при разрушении пружины, чтобы избежать аварийной ситуации, рычаг должен самозамкнуться на упоре диске.

Уравнение движения ролика может быть получено на основе аппроксимации кривой поверхности восьмигранного диска. Это удобно выполнить с использованием соответствующих программных продуктов.

Приведенные выше соображения могут быть положены в основу расчета ограничителя скорости с инерционным роликом.

Литература

1. ГОСТ Р 53780-2010 (ЕН 81-1:1998, ЕН 81-2:1998). Лифты. Общие требования безопасности к устройству и установке. –М.: Стандартинформ, 2010. 152 с.
2. Лифты. Учебник для вузов /под общей ред. Д.П.Волкова. - М.: изд-во АСВ, 1999. 480 стр. с ил.
3. Яновски Л. Проектирование механического оборудования лифтов. Монография. Третье издание. –М.:Издательство АСВ, 2005. 336 с.
4. Баранов А. П., Голутвин В. А. Подъёмники. – Тула: издательство ТулГУ, 2004. – 150 с.
5. Корнеев Г.К., Коротов М.Г., Моцохейн И.С., Жданов Б.В. Лифты пассажирские и грузовые. –М.: Машгиз, 1958. 567 с.
6. ПБ 10-558-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации лифтов. –М.: ПИО ОБТ, 2003. 74 с.

Витчук Павел Владимирович— канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zzzventor@ya.ru.

Подгорбунский Василий Александрович — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vasily.podgorbunsky@yandex.ru.

Фарафонтова Ксения Андреевна — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fakssa@yandex.ru.

В.А. Ермоленко, М.А. Степанцов

КОНСТРУИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПОДЪЁМА СТРЕЛЫ И ГРУЗА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Известен механизм изменения вылета стрелы «путём подъёма стрелы в вертикальной плоскости», например, в монтажном башенном кране или в грейферном кране «с гибкими подвесками, у которых стрела удерживается канатами, и с жесткими подвесками, когда стрела удерживается гидроцилиндрами» [1].

Известен также механизм изменения вылета путём подъёма стрелы, который включает в себя барабан с канатом и полиспастом. Наличие канатов и блоков усложняет конструкцию. Канаты и блоки требуют частых осмотров и замены. Если стрелу поднимают гидроцилиндрами, то возможно изменение вязкости жидкости при повышении температуры и, как следствие, вытекание жидкости, или увеличение рабочего цикла «подъём-опускание» стрелы при понижении температуры жидкости.

Целью данной работы является упрощение механизма подъёма стрелы и груза, повышение его надежности.

Разработанный нами механизм подъёма стрелы и груза состоит из неповоротного основания, например, двухрельсовой тележки 1 (рис.1), нижнего опорно-поворотного устройства с механизмом поворота 2, оснащенного рамой, верхнего опорно-поворотного устройства с механизмом поворота 3, стрелы 4, жестко закреплённой на поверхности рамы верхнего опорно-поворотного устройства. На конце стрелы с помощью жесткого или гибкого подвеса закреплён груз 5.

Механизм подъёма стрелы и груза работает следующим образом. Груз 5, расположенный, например, на уровне рельса 6, закрепляют на стреле с помощью подвеса. Для подъёма стрелы с грузом без её поворота на максимально возможную высоту включают одновременно нижний механизм поворота 2 и верхний механизм поворота 3 в противоположные стороны и выключают после того, как они совершат поворот стрелы на 180° относительно рельса 6.

Высота подъёма груза

$$H = 2L \sin \alpha ,$$

где L – длина стрелы; α – угол наклона рамы.

Для стрелы длиной 5м получим:

$$H = 2 * 5 * \sin 20^\circ = 3.42 \text{ м}$$

Для поворота стрелы 4 и груза 5 без изменения высоты подъёма груза включают только нижний механизм поворота 2. Для совмещения операций подъёма стрелы с грузом и поворота стрелы включают одновременно оба

механизма поворота 2 и 3 в одну сторону, например, по часовой стрелке при виде на кран сверху (см. рис.1).

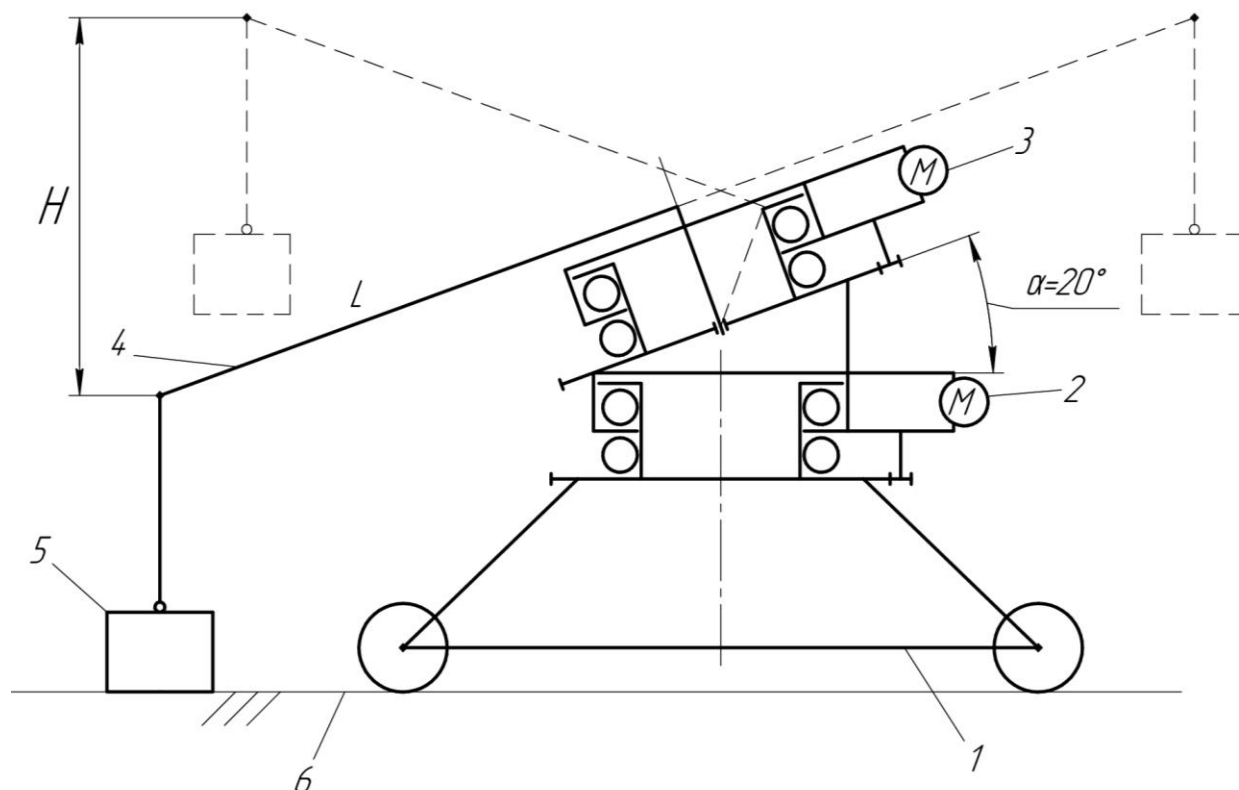


Рис.1 Схема грузоподъемного крана с механизмом подъема стрелы и груза без полиспаста – за счет наклонного и горизонтального механизмов поворота

При подъеме стрелы происходит изменение вылета груза. Груз движется по кривой траектории и приближается к вертикальной оси вращения крана. Для того, чтобы груз оставался на той же вертикали при подъеме стрелы и изменении вылета предлагаем установить датчик местности на крюковой подвеске и сверять его показания с навигатором. Затем включают механизм передвижения крана, совершают наезд или отъезд, выравнивают траекторию груза по вертикали. Этого достаточно, если груз поднимают и опускают в зоне, расположенной вдоль подкрановых рельс.

Положительный эффект по сравнению с аналогом и прототипом заключается в том, что исключается замена расходных материалов (каната или гидрожидкости), заменяются механизмы подъема стрелы и груза на сдвоенный механизм поворота. Механизмы поворота унифицированы (взаимозаменяемы и однотипны), их обслуживание упрощается, т.е. повышается надежность грузоподъемного крана.

Известно устройство, позволяющее наклонять верхнюю поворотную платформу относительно нижней неповоротной платформы, например, экскаватора [2]. Оно содержит звенья между телами качения (роликами), которые могут поднимать с помощью силовых цилиндров ролики, распо-

ложенные с одной из сторон платформы. Это позволяет горизонтировать положение экскаватора, установленного на наклонном основании, и расширить технологические возможности экскаватора (дополнительно регулировать угол наклона роторной стрелы).

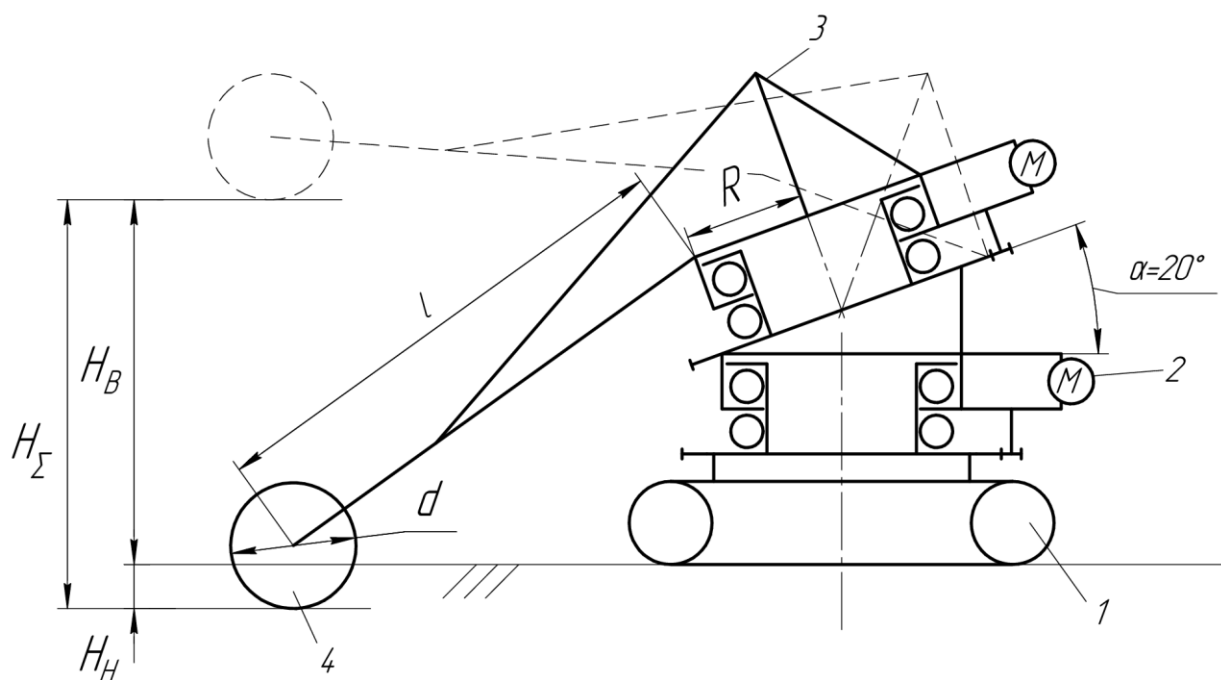


Рис.2 Схема роторного экскаватора с механизмом подъема стрелы без поллипа – за счет наклонного и горизонтального механизмов поворота

Предлагаемое нами устройство имеет более значительный угол наклона верхнего основания относительно нижнего, имеет более простую конструкцию по сравнению с прототипом [2] за счет того, что исключены силовые цилиндры. В качестве примера приведем разработанную нами схему роторного экскаватора (рис.2) и опорно-поворотного устройства, аналогичную той, которая была нами предложена для грузоподъемного крана (см. рис.1).

Роторный экскаватор (рис.2) состоит из неповоротной части 1, установленной, например, на гусеничном или шагающем движителе, сдвоенного (наклонного и горизонтального) опорно-поворотного устройства 2, верхнего поворотного строения экскаватора 3, роторного колеса 4.

Суммарная высота черпания

$$H_{\Sigma} = H_B + H_H = 2L \sin \alpha, \quad (1)$$

где H_B – высота верхнего черпания; H_H – глубина нижнего черпания; α – угол наклона между нижним и верхним опорно-поворотным устройством ($\alpha \approx 20^\circ$).

Вылет режущей кромки относительно оси вращения экскаватора

$$L = R + l + \frac{d}{2}, \quad (2)$$

Где R – радиус поворота стрелы роторного колеса; l – длина стрелы роторного колеса; d – диаметр роторного колеса.

Для роторного экскаватора с теоретической производительностью $1250 \text{ м}^3/\text{час}$ по формуле (2) получим

$$L = 3 + 25 + 2 = 30 \text{ м}.$$

По формуле (1) получим

$$H_{\Sigma} = 2 * 30 * \sin 20^{\circ} = 20.5 \text{ м}.$$

Такое значение суммарной высоты черпания приемлемо, например, для экскаватора роторного гусеничного ЭРГ-1250 17/1.5 производительностью $1250 \text{ м}^3/\text{час}$ с высотой верхнего черпания 17м и глубиной нижнего черпания 1.5м.

Достоинство предлагаемого устройства состоит в том, что упрощается механизм подъема роторной стрелы, так как исключены сложные в эксплуатации канатно-блочные устройства и барабан. В качестве механизма поворота может быть использован планетарно-цевочный редуктор с вертикальным валом и подвенцовой шестерней, например, производства Белробот или АВВИ [3], [4], электродвигатель со встроенным тормозом [5]. В качестве механизма поворота может быть использован также червячный редуктор с горизонтально расположенным червяком, входящим в зацепление с коренным зубчатым венцом (рис 3; 4) производства ООО «PSL» [6].

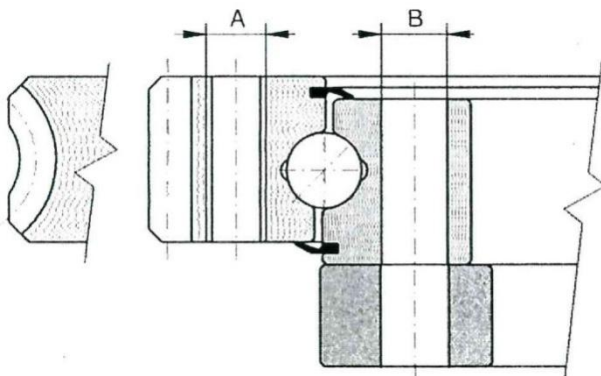


Рис.3 Опорно-поворотное устройство с червячным и прямозубым венцами для коренного зацепления

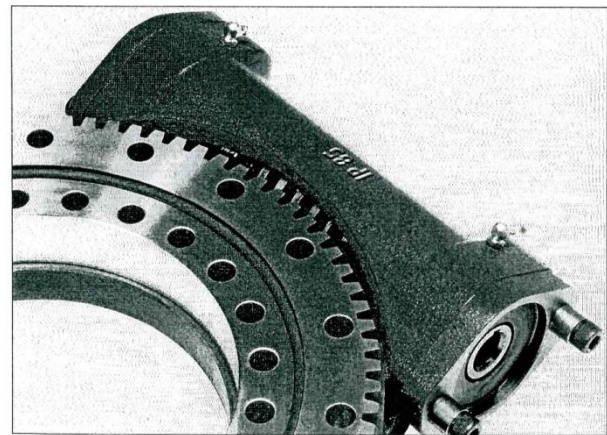


Рис. 4 Опорно-поворотное устройство с горизонтальным червяком

Вывод. Предложенное нами устройство позволяет исключить канатный подвес роторной стрелы экскаватора и исключить канатный полиспаст в механизме подъема груза поворотного крана, т.е. упростить конструкцию экскаватора и повысить надежность механизма подъема роторной стрелы.

Список литературы

- [1]. Александров М.П. Грузоподъёмные машины: Учебник для вузов. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана – Высшая школа, 2000. - 552с.
- [2]. Авторское свидетельство СССР №1258957 кл. E02F 9/12 Опорно-поворотное устройство (Будовой А.М., Булавин Д.В., Матвеев Ю.Н.), опубл. 23.09.86. Бюл. №35.
- [3]. *Планетарный редуктор с циклоидальным цевочным зацеплением производства ЗАО "БЕЛРОБОТ"* URL: http://belrobot.by/product/selected_product:v:48.htm (дата обращения 11.10.2015).
- [4]. *Планетарно-цевочные редукторы производства ООО "АВВИ"* URL: <http://www.avvi.ru/index.php/produkciya/planetarno-sevochnie-reduktori.html> (дата обращения 11.10.2015).
- [5]. Авторское свидетельство СССР №1271948 кл. E02F 9/12 Дисковый фрикционный тормоз (Варгасов А.И., Тимофеев В.В., Иванов В.И., Саяпин А.П.), опубл. 23.11.86. Бюл. №43.
- [6]. *Опорно-поворотные устройства производства ООО «ПСЛ»* URL: http://www.pslas.ru/products/sortiment_otoci.php?sl=12

Ермоленко Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tvermolenko@rambler.ru.

Степанцов Михаил Анатольевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: stepantsov-ma@yandex.ru.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ ДЛЯ ПРИСОЕДИНЕНИЯ УГЛОВОЙ КРАНОВОЙ БУКСЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Цель исследования: уменьшение материалоемкости грузоподъемного крана, имеющего двухрельсовую тележку или ходовую балку, передвигающуюся на ходовых колесах с угловыми буксами.

В современной трактовке понятие «дизайн» является более широким понятием, чем ранее применявшийся термин «художественное конструирование». Понятие «дизайн» включает в себя и художественное и прочностное решение и функциональное удобство объекта в эксплуатации.

С этих позиций конструкция кранов «Пионер» и МЭМЗ-1 (рис.1) имеет недостатки, например, излишнее многообразие металлопроката: уголки с шириной полок 63, 75 и 100 мм – на раскосах стрелы и оси; трубы диаметром 50, 76, 114 и 180 мм – на ходовой раме и стреле; трубы диаметром – 20, 29, 35, и 100; швеллера № 16, 10; листовый металл толщиной – 5, 8, 14 и 16. Итого 17 элементов сортамента. Мы предлагаем исключить в ходовой раме швеллер и консольную ось (заготовка – круг диаметром 60 мм), заменить их на трубу и буксу – соответственно. Художественно соединение «труба к трубе» выглядит лучше, чем соединение «швеллер к трубе», а ось двухопорного ходового колеса прочнее, чем ось консольного ходового колеса (рис.2).

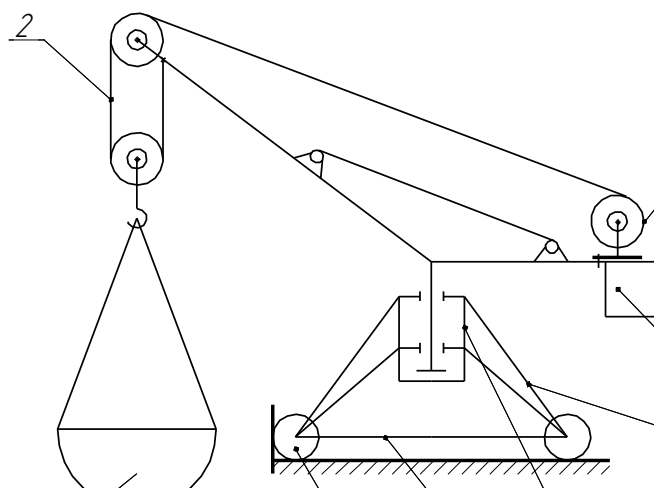


Рис.1 Схема крана МЭМЗ-1(прототип)

1 – груз; 2 – полиспаст; 3 – механизм подъема; 4 – поворотная часть с противовесом; 5 – раскосы; 6 – центральная цапфа; 7 – основание двухрельсовой тележки; 8 – ходовые колеса с угловыми буксами

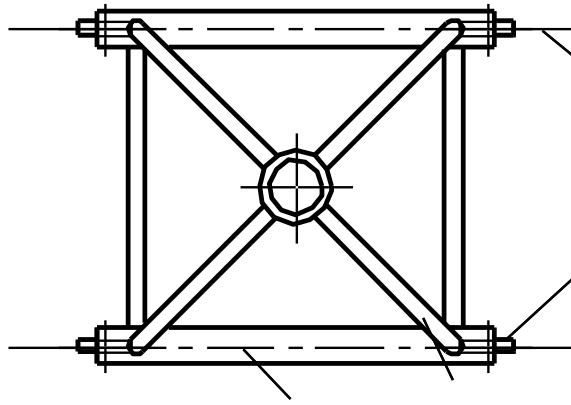


Рис.2 Двухрельсовая тележка поворотного передвижного крана
1 – рельс; 2 – ходовое колесо на угловых буксах; 3 – раскосы держателя центральной цапфы; 4- ездовая балка.

Известна рельсовая тележка и ходовая балка коробчатой конструкции прямоугольного сечения, сваренная из листов. На обоих концах балки имеются угловые вырезы и окантовочные элементы с платиками[1], с.6(рис.3). Недостатками коробчатого сечения при больших нагрузках являются: потеря устойчивости листов в верхней части короба, испытывающих напряжения сжатия; неравномерность (уменьшение) момента инерции короба при повороте относительно диагональных осей прямоугольного сечения. Следовательно, сжатый короб прямоугольного сечения менее нагружен вблизи углов прямоугольника и более нагружен в средних частях его сторон. Неравномерность нагружения материала приводит к необходимости усиления слабых мест, обычно за счет применения накладок или увеличения толщины листа[2], с.98. Это приводит к увеличению массы конструкции.

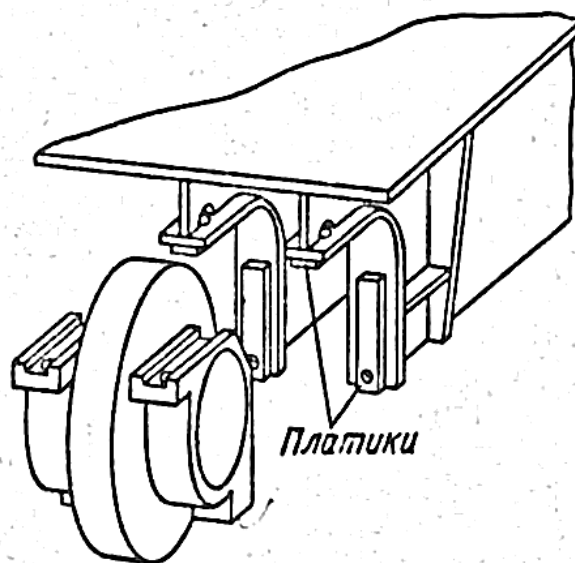


Рис. 3 Соединение коробчатой ездовой балки с угловой буксой

Трубчатые балки и стержни (раскосы и пояса ферм) свободны от этих недостатков, т.е. материал балок и стержней трубчатого сечения менее склонен к потере устойчивости стенки и равномерно устойчив во всех направлениях при напряжениях сжатия.

Рассмотрена металлоконструкция ходовой тележки поворотного грузоподъемного крана типа «Пионер» или МЭМЗ-1 (см. рис.1). Эти краны применяются при строительстве цилиндрических объектов, работают на высоте строящегося объекта, а также применяются для спуска на воду из ангара парусных судов и лодок массой от 0,5 до 2 и более тонн, в случае усиления конструкции двухрельсовой тележки и других силовых элементов.

На основании моделирования узла соединения трубчатой ездовой балки с угловой буксой (рис.4) в среде SolidWorks могут быть рекомендованы следующие соотношения:

$$D_T = 1,2D_{ХК},$$

где: D_T – диаметр трубы; $D_{ХК}$ – диаметр ходового колеса.

Расстояние от нижней части углового выреза в трубе для окантовочного элемента до верхней образующей линии трубы:

$$H = 0,5D_T,$$

Расстояние от торца трубы до вертикальной поверхности углового выреза в трубе:

$$l = 0,4b,$$

где: b – расстояние от опорной поверхности буксы до центра крепежного отверстия (ОСТ 24.090.09) [2], [3].

Пример. Для ходового колеса диаметром 200 мм имеем:

$$D_{ХК} = 200 \text{ мм}; D_T = 1,2D_{ХК} = 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ мм}; H = 0,5 \cdot 240 = 120 \text{ мм}; b = 170 \text{ мм}.$$

Тогда:

$$l = 0,4 \cdot 170 = 68 \text{ мм}.$$

Предлагаемая нами усиленная двухрельсовая тележка поворотного передвижного крана состоит из нижнего квадратного основания (см. рис.2) сваренного из труб диаметром 240 мм с толщиной стенки 8 мм. На четырех углах квадратного основания установлены ходовые колеса диаметром 200 мм [2], [3].

Предлагаем выполнить угловые вырезы в трубчатых ездовых балках, усилить листами ее угловые вырезы для присоединения угловых букс (рис.4).

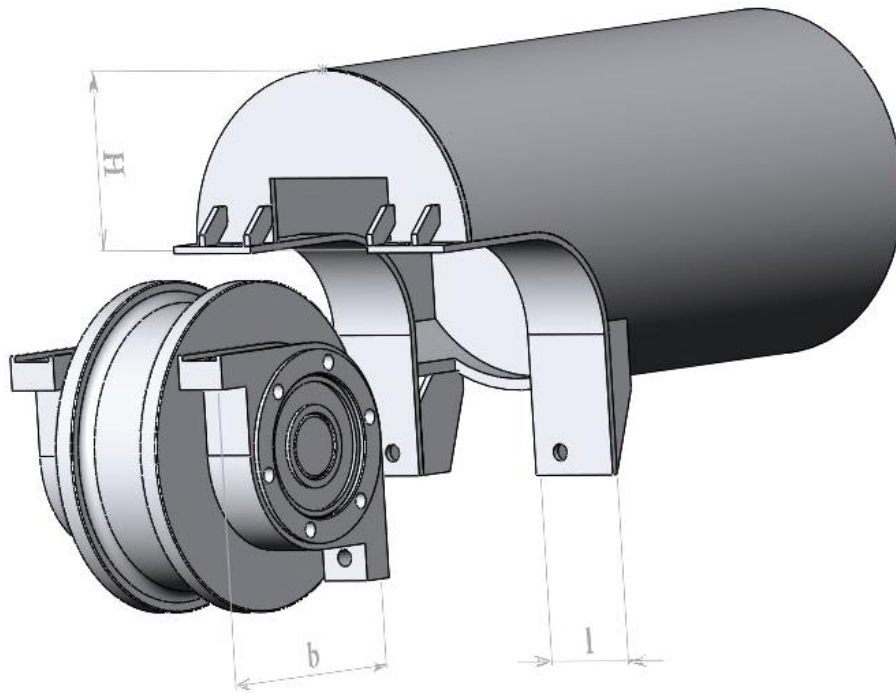


Рис.4 Предлагаемое соединение трубчатой ездовой балки с угловой буксой

Выводы:

1. Сравнивая известную конструкцию соединения коробчатой ездовой балки с угловой буксой (рис.3) и предлагаемую трубчатую конструкцию получим массу двухрельсовой тележки на 20...25% меньше, и на 30...35% меньше, чем для конструкции из швеллеров за счет повышения устойчивости сжатой части стенок ездовых балок.

2. Для крана типа «Пионер», МЭМЗ-1 и им подобных двухрельсовых поворотных передвижных кранов применение угловых букс вместо консольных ходовых колес позволяет повысить прочность оси ходового колеса. Вследствие того, что консольная нагрузка на ось ликвидирована и заменена нагрузкой в середине оси, изгибающая нагрузка на ось уменьшена.

Список литературы:

1. Ремонт металлоконструкций мостовых кранов. Яхнин Р.Н., изд-во Металлургия, 1990.
2. Курсовое проектирование грузоподъемных машин: Учеб. пособие для студентов машиностр. вузов; под ред. С.А. Казака. -М.: Высш. шк., 1989. - 319 с.
3. ОСТ 24.090.09 – Колеса крановые ходовые на угловых буксах.

Ермоленко Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tvermolenko@rambler.ru.

Болтнева Анна Сергеевна — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: annrash1994@yandex.ru.

В.А. Раевский, М.Ю. Леонтьев, А.Е. Смоловик

ОБ ОДНОМ ЗУБЧАТОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ, АЛЬТЕРНАТИВНОМ ЭВОЛЬВЕНТНОМУ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Задача создания и внедрения высоконадежных зубчатых передач с улучшенными массогабаритными и эксплуатационными (КПД, ресурс, виброактивность) характеристиками для высоконагруженных механических приводов в энергетике, транспорте, станкостроении и других отраслях промышленности по-прежнему остается актуальной. Это подтверждается регулярным появлением новых разработок в области зубчатых передач, среди которых трудно не заметить эксцентриковоциклоидальное зубчатое зацепление (далее ЭЦ-зацепление) [1, 2 и др.].

К внедрению разработчиками предлагаются малобюджетные зубчатые передачи на основе указанного зацепления взамен зубчатых передач на основе традиционного эвольвентного зацепления.

К принципиальным преимуществам зубчатых передач на основе ЭЦ-зацепления по сравнению с передачами, использующими эвольвентное зацепление, по утверждению разработчиков, относятся:

1) меньшие габариты при одинаковой мощности (нагрузочной способности), либо повышенная мощность (нагрузочная способность) при одинаковых габаритах;

2) более высокие ресурс, надежность и КПД $> 98\%$, более низкая виброактивность;

3) снижение себестоимости в 1,5-2 раза за счет экономии металла и энергоресурсов при производстве.

Попробуем разобраться за счет чего достигаются декларируемые преимущества ЭЦ-зацепления и насколько они реализуемы на практике?

Для ответа на эти вопросы рассмотрим геометрию ЭЦ-зацепления (рис. 1).

Имеются наборы больших и меньших колес, находящихся в зацеплении (рис. 1, а). Зубчатый профиль большего колеса составлен из венцов циклоидального профиля. Если увеличивать число таких венцов при одновременном уменьшении толщины каждого венца, то в пределе получаем эксцентриково-циклоидальное зацепление колес с криволинейными зубьями (рис. 1, б). Таким образом, данный вид зацепления образован винтовыми зубьями, контур зуба шестерни в торцовом сечении представляет собой окружность, эксцентрично смещенную относительно центра вращения, а профиль зуба колеса очерчен по циклоидальной кривой.

Учитывая приведенные выше сведения по геометрии ЭЦ-зацепления, проанализируем аргументацию его разработчиков более детально.

Во-первых, разработчики утверждают, что новый вид зацепления конструктивно прочнее, надежнее и долговечнее эвольвентного, поскольку:

1) сама форма зуба, у которого основание превышает высоту, обеспечивает минимизацию изгибных напряжений в ножке,

2) благодаря выпукло-вогнутому контакту зубьев существенно повышается площадь поверхности их взаимодействия, следовательно, контактные напряжения снижаются.

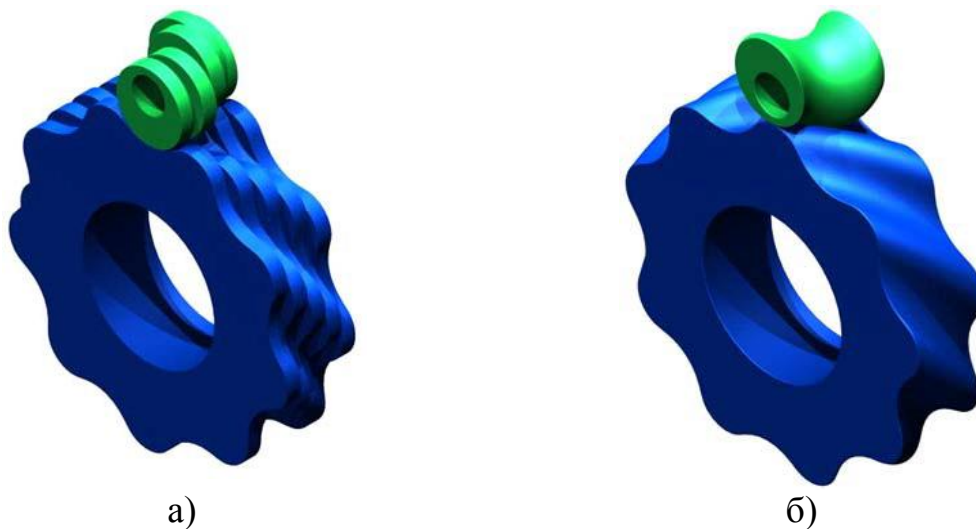


Рис. 1. Геометрия эксцентриково-циклоидального зацепления

С приведёнными утверждениями трудно не согласиться, однако они отнюдь не свидетельствуют о безоговорочном преимуществе ЭЦ-зацепления над эвольвентным в части надежности и долговечности. Дело в том, что циклические изгибающие напряжения в корне зуба уже давно не являются фактором, существенно лимитирующим ресурс грамотно спроектированных эвольвентных передач. Практика показывает, что для таких зацеплений лимитирующим фактором является не изгибная, а контактная прочность, которая обеспечивается оптимизацией геометрии зацепления, выбором материала зубчатых колес и термообработкой.

Тезис о том, что зубья в ЭЦ-зацеплении имеют априори большую по сравнению с эвольвентным зацеплением площадь контакта и, следовательно, нагрузочную способность вследствие наличия у них зоны с выпукло-вогнутым контактом также представляется не вполне корректным.

На самом деле, выпукло-вогнутый контакт не является эксклюзивным преимуществом ЭЦ-зацепления. В эвольвентном зацеплении он реализуется при контакте колес с наружными и внутренними зубьями, что, в частности, широко используется в редукторах большой мощности [3, 4 и др.].

Более того, сопоставление приведенных в [1] характеристик ЭЦ-редуктора привода механизма передвижения козлового крана с аналогичными характеристиками судового редуктора РП-10, серийно выпускаемого более 30 лет [4], свидетельствует о том, что десятикратное преимущество,

декларируемое разработчиками ЭЦ-зацепления, над редукторами на основе эвольвентного зацепления не подтверждается (табл. 1).

Табл. 1. Характеристики редукторов на основе ЭЦ- и эвольвентного зацепления

Редуктор	Типзацепления	Передаточное отношение	Количество ступеней	Относительная масса, кг/Н·м
Редуктор привода козлового крана («Технология маркет»)	ЭЦ	16	1	0,0164
Судовой редуктор РП-10 («КТЗ»)	Эвольвентное	16	2	0,0170

Во-вторых, разработчики ЭЦ-зацепления утверждают, что оно обладает более высоким КПД по сравнению с эвольвентным вследствие того, что окружность перекачивается по циклоиде без проскальзывания, что снижает потери на трение в таком зацеплении.

Ни в коей мере не оспаривая отсутствие проскальзывания при качении окружности по циклоиде, отметим следующее. Перемещение поверхности зуба шестерни, эксцентричной относительно оси вращения, по зубу колеса, на наш взгляд, не является качением без проскальзывания даже в случае идеально точно изготовленной передачи, не имеющей зазоров в кинематических парах и изготовленной из абсолютно жестких материалов. В реальности, при наличии погрешностей, зазоров, разнозазорностей и упругих деформаций возможность достижения в ЭЦпередачах КПД>98% представляется тем более сомнительной.

В-третьих, утверждение разработчиков о меньшей виброактивности ЭЦ-зацеплений по сравнению с эвольвентными основывается на тезисе о том, что точка контакта зубьев в ЭЦ-зацеплении перемещается только в осевом направлении, находясь все время на одном расстоянии от оси вращения колеса, в то время, как у эвольвентного зацепления контакт перемещается от ножки зуба к вершине и наоборот, что приводит к пульсации передаваемого момента и повышенному шуму.

Авторы статьи вообще не считают данный тезис верным по отношению к виброактивности и возникновению шума как в эвольвентных, так и в ЭЦ- передачах [5 и др]. Пульсации передаваемого момента в эвольвентном зацеплении давно и успешно снижаются применением многопарных косозубых (шевронных) зацеплений [4 и др.] и зубчатых колес с модифицированной топологии [5 и др.].

Хотим отметить, что приведенные на сайте разработчика фотографии и схемы наглядно показывают, что в ЭЦ-зацеплении пятно контакта локализуется не только по длине, но и по высоте зуба [5]. Кроме того, наличие пятна, а

не линии контакта на рабочих поверхностях зубьев ставит под сомнение в том числе утверждение об отсутствии проскальзывания в ЭЦ-зацеплении.

В-четвертых, по мнению разработчиков, важным преимуществом ЭЦ зацепления перед эвольвентным является его более высокая технологичность. Следствием является снижение стоимости редукторов за счет изготовления ЭЦ-колес на менее дорогостоящем оборудовании, экономии металла и энергоресурсов при производстве, что представляется обоснованным, как и то, что наибольший экономический эффект от внедрения ЭЦ-зацепления может быть получен только в условиях массового производства.

Таким образом, на основании выполненного анализа конструктивных, технологических, эксплуатационных и экономических особенностей, связанных с заменой традиционного эвольвентного зацепления на ЭЦ-зацепление, авторы приходят к следующим выводам:

1. В настоящее время нет достоверных сведений об отсутствии проскальзывания в ЭЦ-зацеплении, величине КПД $> 98\%$, снижении виброактивности и шумности по сравнению с эвольвентным. Авторами статьи исследуется вопрос о проскальзывании средствами компьютерного моделирования.

2. В настоящее время использование ЭЦ-редукторов может быть оправдано в массовом производстве механических трансмиссий исходя из экономических соображений даже в тех случаях, когда по другим параметрам (шум, прочность, ресурс, КПД) выигрыш не очевиден.

1. Становский В.В., Казакивичус С.М., Ремнева Т.А., Кузнецов В.М. *Эксцентрово-циклоидальное зацепление зубчатых колес и механизмы на его основе*. Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения: сб. докл. научно-тех. конф., ИжГТУ, Ижевск, 2008, с. 148-152.

2. *Эксцентрово-циклоидальное (ЭЦ) зацепление. Теория и практика*. ЗАО Технология маркет. Препринт. Томск, 2015, 93 с.

3. Леонтьев М.Ю. *Исследование статической нагруженности мощных судовых планетарных редукторов*. Автореф. дисс. канд. тех. наук, Москва, 2001, 24 с.

4. Леонтьев Ю.А., Ямпольский И.Д., Хомяков В.П., Леонтьев М.Ю. *Опыт создания на ОАО «КТЗ» судовых редукторов большой мощности*. Юбилейный сборник трудов Научно-исследовательского Центра Калужского Турбинного Завода, Калуга, Манускрипт, 2002, с. 134-144.

5. Косарев О.И. *Вибровозбуждение и динамические процессы в цилиндрических зубчатых передачах*. Автореф. дисс. докт. тех. наук, Москва, 1997, 47 с.

Раевский Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: var-77@mail.ru.

Леонтьев Михаил Юрьевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: newell-kaluga@mail.ru.

Смоловик Андрей Евгеньевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: asmolovik@rambler.ru.

П.В. Витчук, Д.Ю. Кейль, П.П. Кийко, С.А. Матвеев

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КРАНОВ, РАБОТАЮЩИХ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Функционирование производства любой отрасли в значительной степени определяется работоспособностью грузоподъемных кранов. В процессе их эксплуатации происходит частичная и полная потеря работоспособности под действием внешних факторов, например, воздействия окружающей среды (атмосферных осадков, температуры, запылённости), качества технического обслуживания и внутренних процессов (изнашивания, деформации, коррозии, старения) [1]. Обеспечение работоспособности грузоподъемных кранов начинается на этапе проектирования и базируется на анализе предполагаемых нагрузок и условий эксплуатации [2, 3].

Так, например, краны, эксплуатируемые в условиях повышенной влажности, характеризуются проблемой образования конденсата на поверхностях их элементов. В результате чего открытые участки металлоконструкций подвержены образованию на них коррозии. В особенности это касается неокрашиваемых элементов, например, токоподводящих троллеев (рис. 1), выполняемых из стального профильного проката – уголка, швеллера и др.

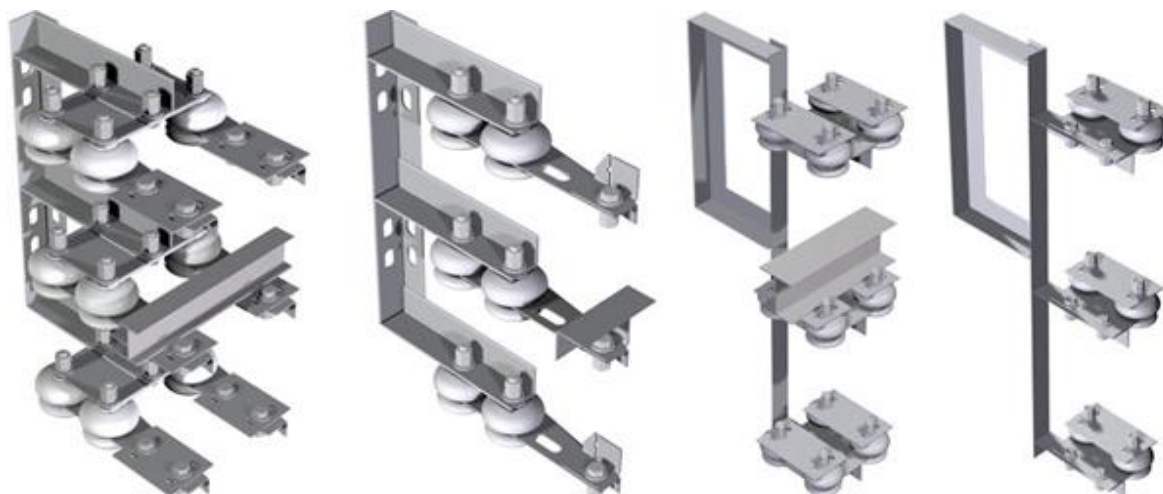


Рис. 1. Крановые троллеи

При эксплуатации кранов в чистых и отапливаемых помещениях даже в условиях повышенной влажности коррозия развивается относительно медленно, поэтому достаточно обработать нерабочую поверхность троллеев защитным антикоррозийным составом. Эксплуатация же в агрессивной среде (запыленность, химически активные вещества и др.) в условиях повышенной влажности вызывает интенсификацию процесса корродирования [1].

Примером могут послужить троллеи мостового крана, эксплуатируемого в цехе фабрики по производству бумажно-картонной продукции (рис. 2). В силу технологического процесса производства, теплый воздух повышенной влажности поднимается вверх. Скапливаясь в верхней части цеха, где расположены кран и его троллеи, он конденсируется на них. Одновременно с этим оседают мелкодисперсные частицы древесной целлюлозы, выбрасываемые вместе с паром в процессе производства. Эти частицы способны впитывать и задерживать влагу, что ускоряет процесс коррозии.



Рис. 2. Троллеи мостового крана с коррозионным повреждением

Наличие конденсата, налипшей пыли и коррозионных участков на троллеях может вызывать [1, 3, 4]

- 1) образование электрической дуги при расхождении контактов;
- 2) кратковременное отсутствие электричества;
- 3) остановку крана.

Образование электрической дуги приводит к преждевременному отказу токосъемников и самих троллеев.

Кратковременное отсутствие электричества в режиме совмещенного движения (перемещение крана совместно с подъемом груза) аналогично отключению одной из фаз сети. Это приводит к уменьшению магнитного потока в электродвигателях и, как следствие, уменьшению крутящего момента на их валах. Некорректная работа электродвигателей чревата их отказом, особенно при работе с тяжелыми грузами.

Остановка крана приводит к остановке технологического процесса производства на срок восстановления электропитания, который может быть весьма значителен.

Поэтому разработка мероприятий по защите токоподводящих элементов является весьма актуальной технической задачей для обеспечения работоспособности крановых механизмов и крана в целом.

На данный момент известны следующие способы защиты [6-9]:

- 1) повышение коррозионной стойкости;
- 2) предотвращение контакта с агрессивной средой на основе нанесения различных типов покрытий;
- 3) снижение агрессивности среды на основе ввода в технологический процесс компенсаторов негативного воздействия;
- 4) изменение схемы токоподвода.

Проанализируем эти способы.

Повышение коррозионной стойкости металла троллеев (легирование до свойств нержавеющей стали) это улучшение его химических свойств, дающее возможность не вступать в реакцию с внешней средой. Очевидно, что применение нержавеющей стали в качестве троллеев экономически неоправданно, особенно для кранов со значительными расстояниями горизонтального перемещения (50 метров и более), поскольку цена на подобную сталь существенно выше обычно применяемой Ст3.

Предотвращение контакта с агрессивной средой заключается в нанесении слоя грунтовки, лакокрасочного покрытия или иного антикоррозийного вещества на обработанную поверхность металла. Нанесение слоя грунтовки и лакокрасочного покрытия широко применяют для защиты различных металлоконструкций, но в случае с троллеями этот способ не приемлем, так как подразумевает образование диэлектрического слоя между токоприемником и троллеями.

Другим способом предотвращения контакта с агрессивной средой, при котором возможна передача электричества, является нанесение на поверхность металла слоя другого металла – цинкование, меднение и др. Аналогично применению нержавеющей сталей, данный способ экономически неоправдан. Известен способ предотвращения контакта с агрессивной средой на основе нанесения специальных токопроводящих коррозионностойких смазок [10]. Несмотря на явные положительные свойства данного способа, его применимость в грузоподъемных кранах весьма ограничена. Это обусловлено тем, что при регулярном контакте с токоприемником происходит удаление слоя смазки. То есть требуется постоянное обновление слоя смазки, что является весьма долговременной и трудоемкой процедурой, особенно в кранах, эксплуатируемых в высоких и/или длинномерных цехах. По тем же соображениям ограничено применение токопроводящих лаков.

Снижение агрессивности среды на основе ввода в технологический процесс компенсаторов негативного воздействия приводит к снижению

скорости коррозионного изнашивания. Оно может быть достигнуто, например, на основе внесения дополнительного оборудования по сбору влаги или фильтрации воздуха от частиц во время технологического процесса, либо сушки воздуха в верхней части цеха и др. Подобный способ может быть реализован индивидуально для каждого технологического процесса, а решение о его реализации должно приниматься на основе технико-экономического анализа. При этом могут дополнительно решаться сопутствующие задачи, например, защита рабочих или окружающей среды от негативных выбросов, образующихся при технологическом процессе.

Изменение схемы токоподвода может быть реализовано на основе использования кабельного подвода тока или коробчатых троллеев закрытого типа. Первая конструкция является весьма дешевой и надежной в эксплуатации. Кроме того, с развитием современных средств неразрушающего контроля в случае возникновения обрыва провода, он может быть достаточно легко выявлен (аналогично обрыву подвесного кабеля лифта [11]). Использование кабельного подвода тока широко распространено при небольшой длине цехов.

С увеличением длины цеха горизонтальное перемещение кабеля затрудняется. В этом случае коробчатые троллеи закрытого типа, которые представляют собой пластиковый короб (рис.3), внутри которого расположены три шины фазы (для трехфазного тока) и нулевая шина.

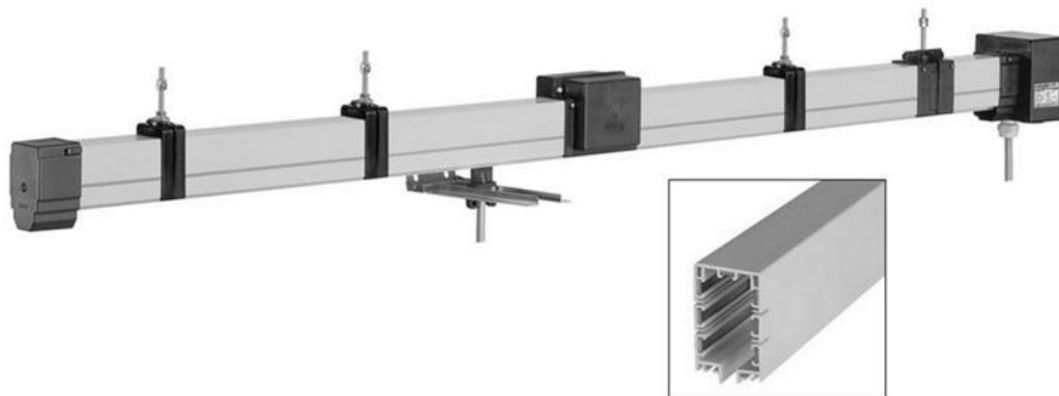


Рис. 3. Коробчатые троллеи закрытого типа

Внутри короба перемещается токоприемник, жестко связанный с металлоконструкцией крана. Нижнюю часть короба обрамляет резиновый уплотнитель, минимизирующий вероятность проникновения мелкодисперсных взвесей внутрь короба. Данная конструкция отличается относительной дешевизной, простотой монтажа, малыми габаритами и повышенной износостойкостью.

Таким образом, работоспособность кранов, эксплуатируемых в условиях агрессивной среды, во многом обеспечивается степенью защиты их токопроводящих элементов, которая может быть реализована различными способами.

Из известных способов защиты от воздействия агрессивной среды в грузоподъемных кранах наиболее рациональным является правильных выбор схемы токоподвода. Данный способ может быть реализован как на этапе проектирования, так и при модернизации уже находящихся в эксплуатации кранов, если их условия эксплуатации отличаются от заложенных при проектировании.

Литература

1. Диагностирование грузоподъемных машин / В.И.Сероштан [идр.] / Под. ред. В.И.Сероштана, Ю.С.Огаря. –М.:Машиностроение, 1992. 192 с.
2. А.С. Проников. Параметрическая надежность машин. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
3. Анцев В.Ю., Толоконников А.С., Ковалева А.Е. Управление эксплуатацией грузоподъемных машин на основе процессного подхода // Подъемно-транспортное дело, 2012. № 1. С. 5–7.
4. Никитин К.Д., Крыгина Т.А., Кузнецов А.А. Аварии грузоподъемных кранов как следствие опасных дефектов // Подъемно-транспортное дело, 2007. №6. С. 17-21.
5. Головин А.И., Рахаев В.В., Петров Р.Н. Аварии грузоподъемных кранов // Подъемно-транспортное дело, 2008. №4. С. 15-18.
6. Пустовой В.Н. Металлоконструкции грузоподъемных машин: Разрушение и прогнозирование остаточного ресурса. –М.: Транспорт, 1992. 135с.: ил.
7. Тайц В.Г. Безопасная эксплуатация грузоподъемных машин: Учеб. пособие для вузов. -М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 383 с.
8. ГОСТ 22827-85 Краны стреловые самоходные общего назначения. Технические условия.
9. ГОСТ 27584-88 Краны мостовые и козловые электрические. Общие технические условия.
10. Улиг Г.Г., Ревы Р.У. Коррозия и борьба с ней. -Л.: Химия, 1989. 456с.
11. Витчук П.В., Сероштан В.И., Самосьев П.В. Диагностирование привода лифта//Известия ТулГУ. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ. 2013. Вып. 7. С. 184–194.
12. РД 10-112-5-97 Методические указания по обследовании грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 5. Краны мостовые и козловые. ОАО ВНИИПТМАШ. –М.: 1997. 54с.

Витчук Павел Владимирович— канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zzzventor@ya.ru.

Кейль Дмитрий Юрьевич –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: keildmtr@mail.ru.

Кийко Павел Петрович –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: 1984707@gmail.com.

Матвеев Сергей Анатольевич –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: matveev@ritc-k.ru.

Т.В. Гаах, И.О. Лесовский, Д.А. Сысоев

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НАЕЗДЕ КРАНОВ НА ТУПИКОВЫЕ УПОРЫ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В предложенной статье рассмотрен обзор научно-исследовательских работ по проблемам взаимодействия грузоподъемных кранов с тупиковыми упорами (ТУП). Динамические нагрузки, возникающие при соударении кранов с препятствием в виде тупикового упора, могут привести к существенным деформациям металлоконструкции, вплоть до потери прочности и устойчивости или даже к аварийной ситуации.

Исследованием нагрузок, возникающих в процессе наезда кранов на ТУП занимались ученые Петухов П.З., Ковальский Б.С., Комаров М.С., Казак С.А., Лобов Н.А., Мартынов А.В. и др. [1-6].

Одним из первых в России был докт. техн. наук, профессор Петухов П.З. Целью его работы были методы поглощения кинетической энергии мостового крана (тележки) и полезного груза и перехода её в другие виды энергии [1].

Петухов П.З. сформулировал основные требования к крановым буферам и получил систему уравнений:

$$\begin{cases} (m_k + m_r)\ddot{x} - m_r l_k (\ddot{\varphi} \cos \varphi - \dot{\varphi}^2 \sin \varphi) = Q_x \\ \ddot{\varphi} = \frac{a_n}{l_k} \cos \varphi - \frac{g}{l_k} \sin \varphi \end{cases}$$

где: m_k и m_r - масса крана и груза; l_k - длина подвеса груза; x - координата движения крана; φ - угол отклонения груза от вертикали; Q_x - горизонтальная проекция действующих на кран сил.

Уравнение описывает процесс торможения грузоподъемных кранов гидравлическим буфером с постоянным сопротивлением, с учетом сопротивления передвижению и гибкого подвеса груза для расчетной модели с 2-мя степенями свободы (рис.1).

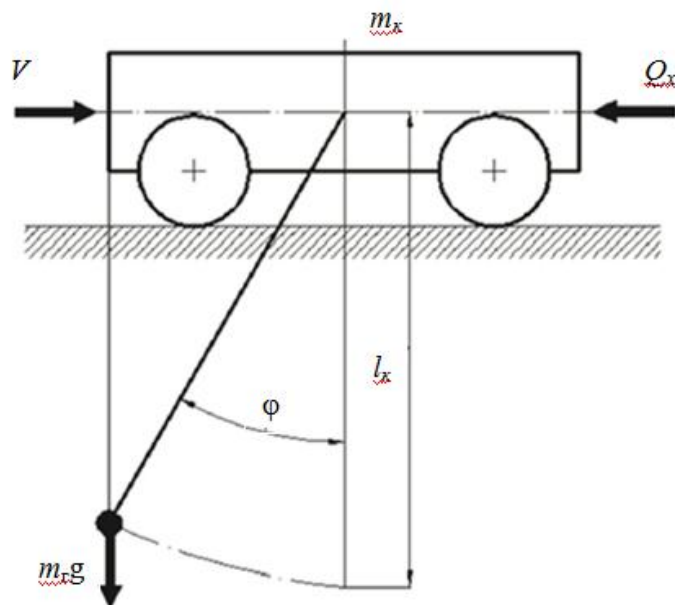


Рис.1 Расчетная модель процесса наезда крана либо грузовой тележки на тупиковый упор по Петухову П.З.

Случай наезда крана на пружинный буфер с наибольшей скоростью при отсутствии торможения (рис. 2) рассматривал в своей работе Комаров М.С. [2].

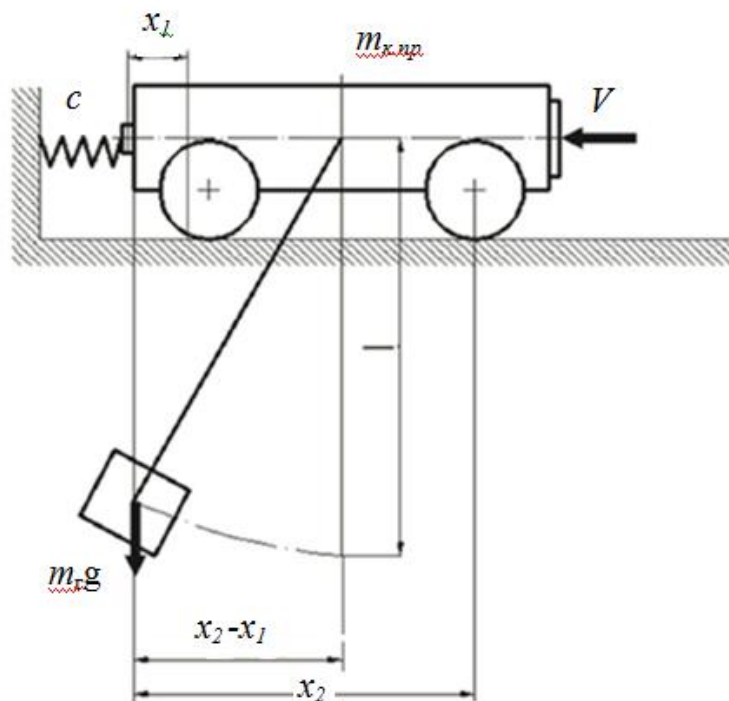


Рис. 2 Расчетная модель наезда крана с грузом на тупиковый упор по Комарову М.С.

Система дифференциальных уравнений движения выведенная Комаровым М.С.:

$$\begin{cases} m_{к.нр} \frac{d^2 x_1}{dt^2} + cx_1 = \frac{(x_2 - x_1)m_r g}{l} \\ m_r \frac{d^2 x_2}{dt^2} + \frac{m_{р.нр} g}{l} - (x_2 - x_1) = 0 \end{cases}$$

где: $m_{к.нр}$ - сумма приведенных масс крана и вращающихся элементов его механизма передвижения; m_r – масса груза; l - длина подвеса груза; x_1 и x_2 – координаты положения крана и груза; c – жесткость буфера.

Возможность использования гравитационного способа торможения (рис.3), с целью обеспечения безопасной работы кранов в тупиковых участках кранового пути в своей работе рассмотрел Мартынов А.В. [4].

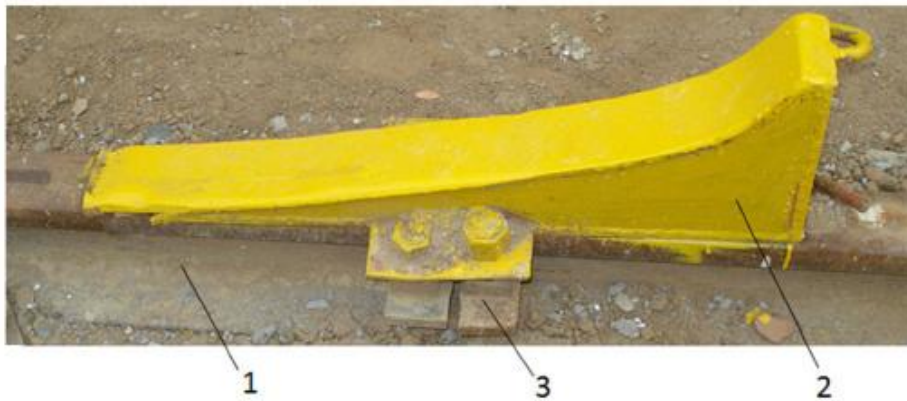


Рис.3 Подкрановый рельс и безударный тупиковый упор:
1-рельс; 2 – ТУП; 3 – крепление безударного тупикового упора к рельсу

В работе установлены зависимости, характеризующие влияние исследуемых факторов (параметров уклонов, сил сопротивления передвижению, движущих сил, положения центра тяжести крана, массы и длины подвеса груза на гибком подвесе) на параметры движения кранов. Кроме того, выведены формулы для выбора рациональных профилей уклонов (рис.4).

Полученная Мартыновым А.В. система уравнений движения имеет вид:

$$\begin{cases} [m_1(1 + \frac{tg^2\alpha}{3}) + m_2 \frac{tg^2\alpha}{4}] \ddot{S} + (m_1 + m_2)g \frac{tg\alpha}{2} - m_2 g \varphi = 0 \\ l\ddot{\varphi} + \ddot{S} + g\varphi = 0 \end{cases}$$

где: m_1 – приведенная масса крана; m_2 и l - масса и длина подвеса груза на гибком подвесе; α – угол наклона рельсов к горизонту; φ - угол отклонения груза от вертикали.

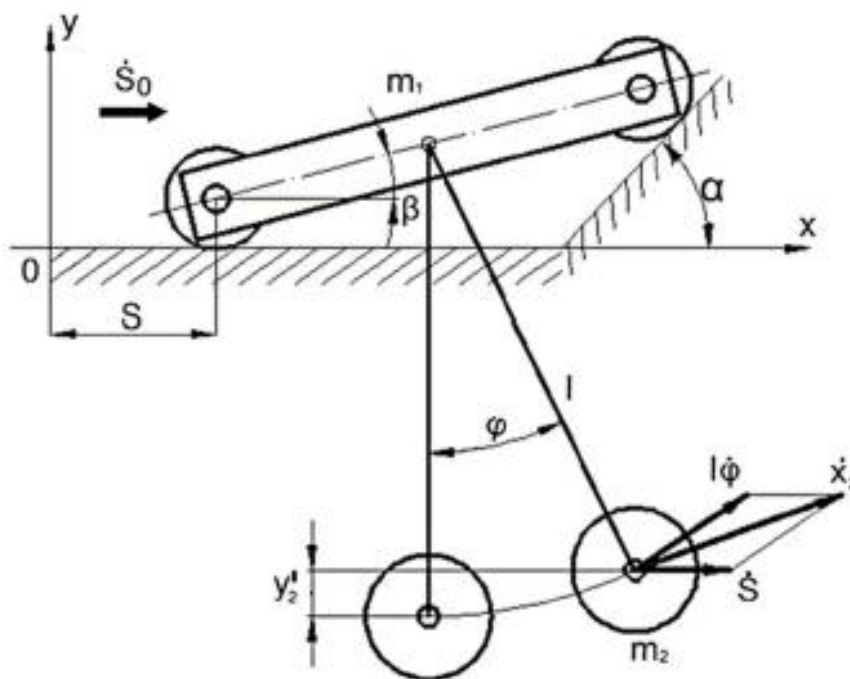


Рис.4 Расчетная модель гравитационного безударного торможения крана с грузом на гибком подвесе по Мартынову А.В.

Мартыновым А.В. также было установлено, что «рациональный профиль уклонов для осуществления гравитационного торможения кранов должен состоять из переходного участка, обеспечивающего плавное нарастание замедлений до заданных величин и рабочего участка, на котором реализуется минимум тормозного пути кранов; кроме того, установлено, что геометрические характеристики крана (база, положение центра тяжести) оказывают существенное влияние на закон его гравитационного торможения, а наличие гибко подвешенного груза значительно снижает тормозной путь и время гравитационного торможения крана» [4].

На основании обзора и анализа работ можно сделать следующие выводы:

- чрезмерные упрощения расчетной схемы, т.е. использование плоских моделей с 2-ми и 3-мя степенями свободы, не отражают в полной мере процесс силового взаимодействия кранов с ТУП и влияние его на состояние металлоконструкции грузоподъемных кранов;

- рассмотренные работы посвящены исследованию взаимодействия ТУП с кранами мостового типа, крайне мало исследований для башенных и козловых кранов [1,4,6]. Исследования, посвященные данной проблеме в порталных кранах в обзорах, не встречаются.

- в работах не рассматривается уровень устойчивости башенных кранов при их наезде на безударные (гравитационные) ТУП [4], при этом наибольшее число аварий приходится на башенные краны.

- не учитываются упругие свойства материала, из которого изготовлен амортизатор ТУП [2,3,6];

- не учитывается длина подвеса транспортируемого груза на силы взаимодействия кранов с ТУП [6];

- на кранах с гибким подвесом не учитывается влияние свободного колебания груза при наезде крана на ТУП [2];

- не учтено поведение и влияние жесткости действительных металлоконструкций на процесс силового взаимодействия кранов с ударными и безударными ТУП;

- не учитывается влияние положения грузовой тележки в пролете мостового крана (мостовые и козловые краны), и величины вылета стрелы с грузом (портальные и башенные краны) на процесс взаимодействия крана с ТУП [1,2,4].

Таким образом, дальнейшие исследования влияния ударного динамического нагружения на состояние и поведение металлоконструкций грузоподъемных кранов в процессе их наезда на ТУП, является важным и актуальным, в особенности для кранов с истекшим нормативным сроком службы.

Список литературы

[1] Петухов П.З. О расчете гидробуферов. *Вопросы теории и работы ПТМ, Москва-Свердловск: Машигиз, 1955, В. 56, с. 5-14.*

[2] Комаров М.С. *Динамика грузоподъемных машин.* М.: Машгиз, 1962, 268 с.

[3] Ковальский Б.С. Расчет крановых буферов с учетом гибкого подвеса груза. *Вестник машиностроения, 1954, №4, с. 14-17.*

[4] Мартынов А.В. *Исследование гравитационного торможения мостовых кранов и крановых тележек.* Дис...канд. техн. наук. Новочеркасск, 1976, 185 с.

[5] Казак С.А. *Динамика мостовых кранов.* М.: Машиностроение, 1968, 331 с.

[6] Лобов Н.А. *Динамика передвижения кранов по рельсовому пути: учебное пособие.* М: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003, 232 с.

Гаах Татьяна Владимировна— ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: gaakh.tatyana@yandex.ru.

Лесовский Игорь Олегович — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: igor@lesovsky.ru.

Сысоев Дмитрий Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dmm-sv@mail.ru.

П.В.Витчук, А.В.Федоров

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭВМ В ДИАГНОСТИРОВАНИИ ЛИФТОВ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Для надежного и безопасного функционирования лифтов необходимо своевременно производить их диагностирование. Основной проблемой при проведении диагностирования лифтов является отсутствие единой системы для однозначного определения их технического состояния.

В связи с ростом и развитием городов возросла потребность в строительстве многоэтажных и высотных зданий, в которых необходима установка лифтового оборудования. Интенсивный рост населения, развитие технологий строительства и дефицит земельных участков, обуславливают данную тенденцию. Помимо этого, согласно данным Минстроя РФ от 9 октября 2015 года о 276 тысячах лифтов, нормативный срок службы отработали 96 тысяч из них. В 19 субъектах Российской Федерации износ лифтов составил более 50%. Средняя доля изношенного лифтового оборудования в жилом фонде – 35%.

Развитие производства лифтов, обеспечение их безопасной эксплуатации требует повышения уровня неразрушающего контроля.

Особенная роль неразрушающего контроля состоит в обеспечении промышленной безопасности в условиях продолжающегося износа оборудования.

Все процессы образования и развития дефектов носят вероятностный характер. Дефекты в конструкциях лифтов часто наследуются при производстве металлопродукции или появляются на стадии сборки и монтажа конструкции. При эксплуатации — это следствие нарушений паспортных режимов и некачественный ремонт несущих элементов.

Выбор метода диагностики технического состояния металлоконструкций должен определяться, как минимум, двумя факторами: наличием физически обоснованных параметров контроля и аппаратным обеспечением, позволяющим осуществлять контроль с требуемой точностью и воспроизводимостью.

Диагностирование поможет полнее использовать межремонтный ресурс агрегатов, узлов, деталей и подсистем лифтов, устранить необоснованную разборку механизмов, резко сократить простои лифтов из-за технических неисправностей путем прогнозирования и своевременного предупреждения отказов, снизить трудоемкость ремонта и технического обслуживания лифтов за счет сокращения разборочно-сборочных работ и своевременного качественного выполнения регулировочных работ.

В зависимости от конструктивного исполнения, особенностей использования и эксплуатации, объекты диагностирования имеют различный уровень контролепригодности, которая определяет приспособленность

объекта к диагностированию. Требования к контролепригодности включают рекомендации легкодоступности, взаимного согласования, легкоъемности и безотказности соединения устройств сопряжения (разъемов, переходников, штуцеров и др.), а также допустимости включения специальных устройств сопряжения, обеспечивающих рациональное ограничение их номенклатуры[1], [2].

Контроль основных параметров технического состояния узлов и подсистем лифтов методами неразрушающего контроля позволит установить закономерности их изменения в зависимости от наработки на отказ и с достаточной точностью прогнозировать остаточный ресурс узлов, деталей и подсистем лифтов.

При управлении техническим состоянием лифта следует учитывать характер изменения параметров в течение эксплуатации. Параметры технического состояния с течением времени работы лифта изменяются и достигают предельного отклонения, что ведет к отказу элементов и как следствие остановке лифта. Оценка технического состояния лифтов с определенной точностью является диагностированием.

В процессе управления техническим состоянием лифта диагностирование выполняет три основные функции: получение информации о техническом состоянии конкретного лифта, обработка и анализ информации и подготовка, и принятие решения. Суть первой функции состоит в измерении диагностических параметров, установлении качественных и количественных признаков, а также определение наработки лифта и его узлов. Вторая функция заключается в обработке и сравнении полученных значений параметров с допустимыми, использовании полученных значений параметров и наработки для прогнозирования работоспособности, остаточного ресурса деталей, узлов и лифта в целом. Третья функция заключается в анализе результатов сравнения и прогнозирования и установлении характера, объема и срока выполнения операций по техническому обслуживанию или ремонту лифта[3].

Диагностирование позволяет перейти на прогрессивную систему технического обслуживания и ремонта лифтов по его фактическому состоянию. Оно призвано решать задачи: определения необходимости проведения капитального ремонта лифта и его узлов и подсистем в определенный срок; определения объема и характера работ при выполнении операций технического обслуживания [4].

В связи с тем, что существует множество однотипных конструкций лифтов, существуют и наиболее часто встречающиеся типы дефектов, поломок и отказов его узлов и деталей. Исходя из этого, необходимо использовать в организациях, занимающихся техническим обслуживанием лифтов дефектные ведомости. В них необходимо указывать отказавший узел или деталь, причину отказа и срок, который отработал отказавший элемент. Это позволит собрать достоверные и необходимые данные по основ-

ным узлам и деталям лифта и составить представление о наиболее слабых его элементах.

Имея данную статистику по отказам, появляется возможность ввода в процесс диагностирования ЭВМ, что позволит существенно его ускорить, упростить и удешевить. Для применения ЭВМ необходимо имеющуюся статистику, паспортные данные и результаты технических осмотров свести в базу данных. Помимо этого, применяя согласно определенному алгоритму математический аппарат, возможна разработка специализированного программного обеспечения. В данное ПО будут включены знания специалистов об условиях эксплуатации, режимах работы, техническом состоянии, процессах появления повреждений и которая в пределах имеющихся знаний способна быстро принять правильное решение даже в нештатной ситуации. Она предназначена для проведения многовариантной оценки работоспособности и остаточного срока службы, определения основных показателей, выработки рекомендаций по изменению конкретных параметров и критериев с учетом особенностей эксплуатации лифта. Получив стандартный набор информации (тот, что входит в дефектную ведомость), система проводит параллель между полученными данными и имеющимися в ее базе данных.

Таким образом, применяя программный автоматизированный комплекс, в котором будут учитываться данные по эксплуатации, диагностике и ремонту, можно получить объективную картину о состоянии лифта, а также получить представление о наиболее слабых местах в его конструкции, что позволит провести исследования для новых технических решений, обеспечивающих более высокий уровень надежности лифта.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Диагностирование грузоподъемных машин / В.И. Сероштан, Ю.С. Огарь А.С. Головин и др.; Под ред. В.И. Сероштана, Ю.С. Огаря. — М.: Машиностроение, 1992. — 192 с.
- [2] ГОСТ 26656-85. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 9 с
- [3] Диагностирование узлов и подсистем лифтов. Д.П. Волков, П.И. Чутчиков, А.К. Прокофев. — М.: Стройиздат, 1981. — 132 с.
- [4] Надежность лифтов и технология их ремонта. Д.П. Волков, П.И. Чутчиков — М.: Стройиздат, 1985. — 128 с.

Витчук Павел Владимирович — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zzzventor@ya.ru.

Федоров Александр Васильевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedorov@nxt.ru.

Н.П. Сибилев, С.А. Сережин

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ С НАТЯГОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Натягом называют разность размеров посадочных поверхностей охватываемой и охватывающей деталей. В наиболее часто применяемых соединениях по цилиндрическим и коническим поверхностям: охватываемая поверхность - у вала, охватывающая - у отверстия втулки. Для получения соединения деталей с натягом посадочный размер охватываемой детали выполняют большим, а охватывающей меньшим. После сборки посадочный размер деталей становится общим вследствие упругих или упругопластических деформаций. Эти деформации обуславливают появление на поверхностях контакта соединяемых деталей нормального к этим поверхностям равномерно распределенного давления p , которое вызывает появление сил трения [1].

Условием работоспособности соединения деталей с натягом является отсутствие их взаимного сдвига под действием внешних нагрузок.

Силы трения в виде произведения давления p на коэффициент трения f присутствуют в качестве множителя во всех расчетных формулах, описывающих условие несдвигаемости деталей соединения при действии любых внешних нагрузок на соединение: осевой силы, вращающего момента T , изгибающего момента M как раздельно, так и при одновременном нагружении.

Приводимые в литературных источниках [1,2] значения коэффициентов трения f в соединениях с натягом, например, стального вала с различными состояниями его поверхности участвующей в соединении (без покрытий, вал цементирован или азотирован) и охватывающей детали из стали при температурной сборке составляет от 0,14 до 0,28. С применением абразивного микропорошка на соединяемой поверхности вала и нагреве перед сборкой охватывающей детали, коэффициент трения достигает значения 0,45.

Показано также [1], что значение коэффициента трения достигает величин 0,45...0,7 после осаждения гальваническим способом тонкого слоя из твердых микрочастиц карбида кремния SiC на соединяемую с натягом поверхность вала и сборки с нагревом охватывающей детали.

Проанализировав структуру пограничных слоев деталей соединения с натягом, полученного с нагревом охватывающей детали (втулки), при нахождении в зоне контакта твердых мелкодисперсных частиц, пришли к выводу, что на силу трения в соединении влияет не только коэффициент трения f , но и другое явление, названное сцеплением. Присутствие мелкодисперсных твердых частиц в пограничных слоях контактирующих в соединении поверхностей дает основание рассматривать зону контакта, как

зону, в которой противодействуют внешним нагрузкам не только силы трения, но и силы, противодействующие по механизму, имеющемуся в структуре дисперсно-упрочненных композиционных материалов (ДКМ)[3].

В матрице ДКМ равномерно распределены мелкодисперсные частицы 0,1 – 0,6 мкм упрочняющей фазы [4]. В таких материалах при нагружении всю нагрузку воспринимает матрица, в которой с помощью множества очень твердых и прочных мелкодисперсных частиц создается структура, эффективно сопротивляющаяся пластической деформации.

Известно, что вязкий лишенный хрупкости материал перед разрушением претерпевает значительную деформацию. Пластическая деформация в реальных кристаллических материалах начинается при напряжениях, которые меньше чем теоретически рассчитанные для идеальных материалов, примерно в 1000 раз. Это объясняется тем, что в пластической деформации активно участвуют дислокации – локальные искажения кристаллической решетки. При деформации благодаря дислокациям сдвиг атомов в соседнее положение происходит не одновременно по всей поверхности скольжения, а растягивается во времени. Такое постепенное скольжение за счет небольших смещений атомов в области дислокации не требует значительных напряжений, что и проявляется при испытаниях материалов. Упрочнение таких материалов заключается в создании в них структуры, затрудняющей движение дислокаций, что и создают мелкодисперсные частицы упрочняющей фазы.

Список литературы

1. Детали машин: Учебник для вузов/ Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулич и др.; Под ред. О.А. Ряховского. - 3 изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. - 520с.: ил.
2. Решетов Д.Н. Детали машин: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989. - 496с.: ил.
3. Композиционные материалы: Справочник/ В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др.; Под общ.ред. В.В. Васильева, Ю.М. Тарнопольского. - М.: Машиностроение, 1990. - 512 с.; ил.
4. Справочник по конструкционным материалам: Справочник/Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов и др.; Под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, - 640с.: ил.

Сибилев Николай Пантелеевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nikolay.sibilev@yandex.ru.

Сережин Станислав Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: serezhin_as@mail.ru.

П.В. Витчук, П.П. Кийко, С.А. Матвеев

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ГЛИНОПОРОШКОВ)

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Обеспечение требуемой производительности транспортирующих систем является главной задачей на любом производстве. В ряде случаев (например, при модернизации производства или увеличении транспортных потерь, обусловленных износом транспортных систем) требуется повышение производительности существующих транспортирующих систем, что представляет собой достаточно сложную и многофакторную задачу [1]. Решение данной задачи основано на технико-экономическом анализе компромиссных вариантов между производительностью и энергетической эффективностью, поскольку прирост производительности непременно сопровождается ростом энергопотребления [2, 3].

На опасных производственных объектах, где изготавливаются сыпучие материалы, помимо производительности и энергетической эффективности важным показателем транспортирующих систем является их безопасность для персонала [4].

Рассмотрим процесс совершенствования транспортирующей системы на примере цеха по производству глинопорошков. В существующем технологическом процессе используют комбинированную пневмомеханическую транспортную систему. Подача порошков с шахтных мельниц осуществляется пневмотранспортом с осаждением на конвейерную линию и далее на элеватор. Элеватором порошки поднимают на башню и шнековым транспортером распределяют по силосам (рис. 1). Проектная производительность линии составляет 20 т/ч, фактическая же производительность не превышает 9 т/ч. Существенные различия между проектной и фактической производительностью обусловлены распылением порошка в воздухе и износом оборудования. Кроме того, распыление порошка в воздухе вызывает многочисленные сбои и отказы оборудования, а также необходимость выполнения всех работ персоналом в средствах индивидуальной защиты.

Известно [4, 5], что на опасных производственных объектах при применении ковшовых элеваторов имеет место высокое содержание взвешенных частиц в воздухе, обусловленное недостаточной герметичностью, что сильно затрудняет эксплуатацию оборудования и контроль за его состоянием и приводит к значительным потерям продукции. Также потери продукции имеют место на переходных участках транспортной системы: с пневмотранспорта на конвейерную линию; с конвейерной линии на элева-

тор; с элеватора на шнековый транспортер; со шнекового транспортера на силос.

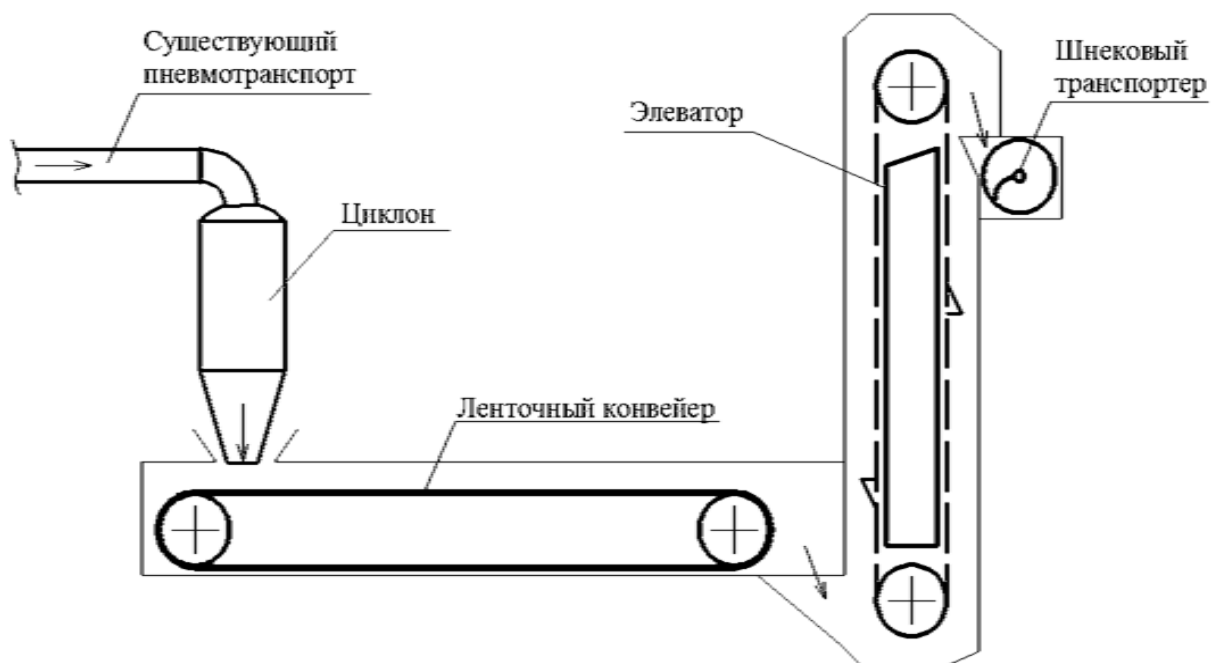


Рис. 1. Существующая схема процесса транспортирования

Поэтому было предложено заменить существующую пневмомеханическую транспортирующую систему целиком на пневматическую. Типовая пневмотранспортная установка включает в себя следующие основные узлы: питатель – устройство для ввода материала или аэросмеси в трубопроводы; система пневмопроводов и материалопроводов; разгрузитель с фильтром для воздуха; воздуходушная машина; приемник материала [6]. На основе анализа различных вариантов компоновочных схем транспортирующей системы, был выбран вариант с пневмотранспортной установкой, непосредственно подающей порошки на циклоны, установленные на силосных башнях (рис. 2). Это позволит свести потери к минимуму и, как следствие, обеспечить проектную производительность и значительно снизить количество распыляемого порошка.

Известным недостатком пневматического транспорта является повышенное удельное потребление энергии из-за достаточно низкого КПД, обусловленного спецификой конструкции [4, 6]. Так, проведенные с использованием методик [1, 6, 7] расчеты показали, что при замене существующей пневмомеханической транспортирующей системы на пневматическую, несмотря на прирост производительности, удельный расход энергии увеличивается более, чем в два раза. Проведенный анализ подобных систем показал, что существенное влияние на энергозатраты оказывают два основных показателя: качество выполнения линейной части трубопровода и общее число и форма выступов на всей длине трубопровода.

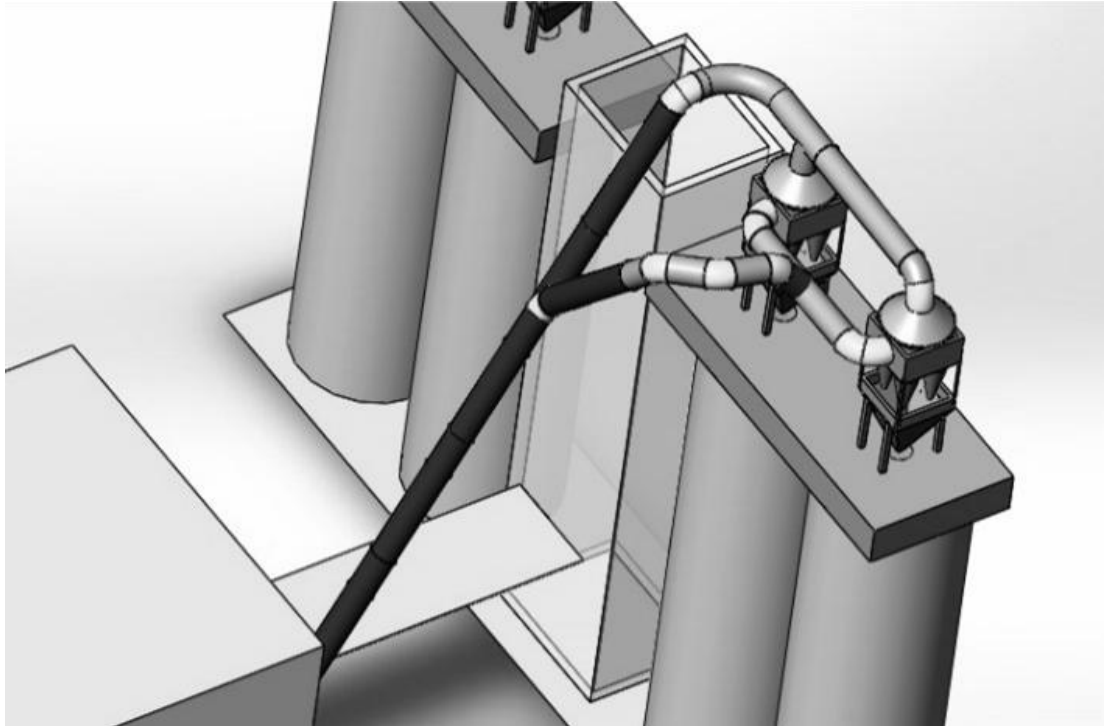


Рис. 2. Предлагаемый вариант пневмотранспортной установки

Несмотря на то, что повышение качества выполнения линейной части трубопровода требует достаточно больших капитальных затрат, это позволит существенно увеличить энергетическую эффективность. Проведенные расчеты доказали эффективность этого решения. Кроме того, было предложено внести изменения в форму выступа на основе заделки его пластиковыми материалами без уменьшения высоты.

В результате реализации предложенных конструктивных решений было обеспечено примерно 20% -е снижение расхода энергии (рис. 3).

Помимо существенного повышения производительности при незначительном снижении энергетической эффективности модернизация транспортирующей системы цеха по производству глинопорошков позволяет:

1. Существенно снизить количество распыленного в воздухе порошка на основе герметизации значительной части транспортирующей системы. Это позволяет обеспечить комфортные условия труда и возможность работы без средств индивидуальной защиты (согласно [8]), а также увеличить наработку между отказами оборудования.

2. Снизить примерно в 10 раз интенсивность абразивного изнашивания трубопроводов на основе применения труб с алюмотермическим покрытием.

3. Использовать тепло, выделяемое подаваемым из мельниц порошком (примерно 400°C) на полезные нужды, например, обогрев помещения цеха в зимний период.

В заключении можно отметить, что пневмотранспорт является прогрессивным способом механизации перемещения насыпных грузов. Рас-

ширение применения пневмотранспорта позволяет достичь высоких показателей производительности и экологичности, что окупает сравнительно высокий расход энергии на единицу массы транспортируемого продукта. Применение новых технологий, конструкционных материалов и компьютерных систем открывает новые возможности оптимизации транспортирующих систем, что позволит обеспечить высокие показатели производительности и энергетической эффективности.

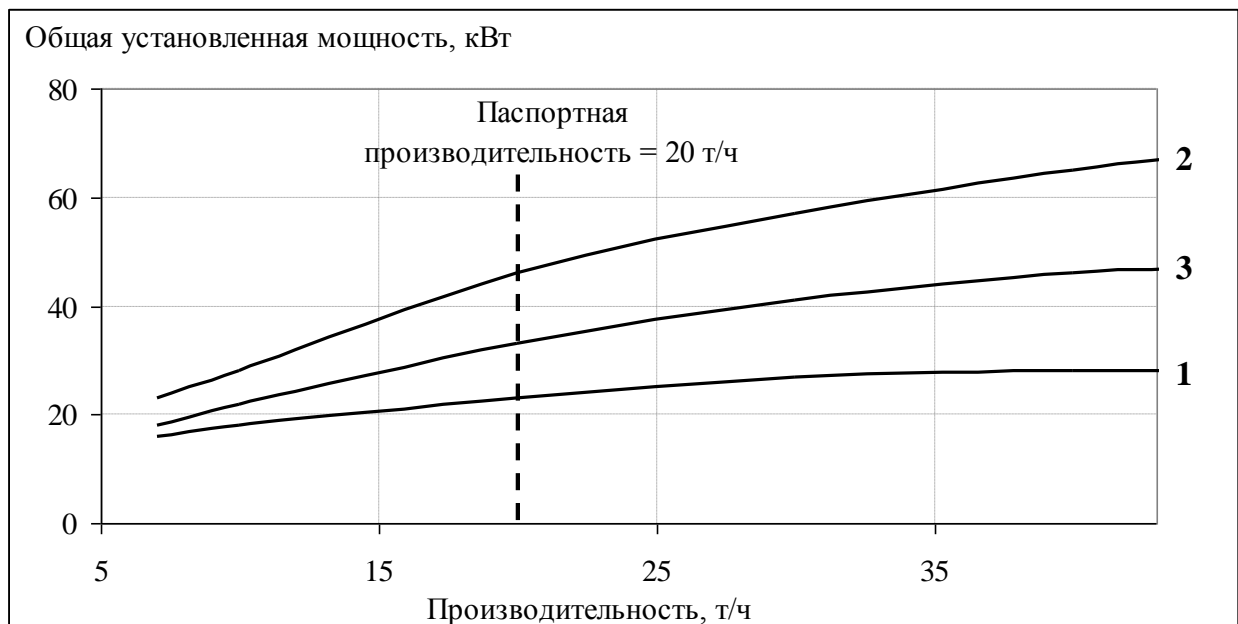


Рис. 3. Сравнительная характеристика производительности и энергетической эффективности различных вариантов транспортирующих систем: 1 – существующая пневмомеханическая; 2 – типовая пневматическая; 3 – модернизированная пневматическая

Литература

1. Неруш Ю.М. Логистика: учеб. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2006. 520 с.
2. Анцев В.Ю., Шафорост А.Н. Повышение энергоэффективности транспортных операций на промышленных предприятиях // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Выпуск 12. Часть 1. С. 163-169.
3. Анцев В.Ю., Шафорост А.Н. Оптимизация структуры внутрицехового транспорта машиностроительных предприятий // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. №2-4 (292). С.104-109.
4. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта: учеб. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. 432 с.
5. Конвейеры. Справочник / Р.Л. Зенков [и др.] / Под общ. ред. Ю.А. Пертена. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. 367 с.

6. Клячко Л. С., Одельский Э.Х., Хрусталеv Б.М. Пневматический транспорт сыпучих материалов. – Мн.: Наука и техника, 1983. 216 с.
7. Зайцев Е.Н. Общий курс транспорта. – С.-Пб, 2004. 179 с.
8. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

Витчук Павел Владимирович— канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zzzventor@ya.ru.

Кийко Павел Петрович –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: 1984707@gmail.com.

Матвеев Сергей Анатольевич –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: matveev@ritc-k.ru.

А.А. Шубин, Н.М. Борискина, А.В. Федоров

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТ ПРИ РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Механизированный путевой инструмент играет большую роль в механизации как ремонтных работ, так и работ по текущему содержанию на железнодорожных путях. По мере появления новых высокопроизводительных многооперационных путевых машин, полностью механизующих ремонтные работы на железнодорожных путях, область применения переносного инструмента будет постепенно сокращаться. Однако такие комплексы требуют остановки движения составов и имеют высокие эксплуатационные расходы, поэтому их применение нецелесообразно при текущем содержании пути, например, при замене отдельных шпал или при локальной выправке пути[1].

Путевой электроинструмент – шпалоподбойки, рельсосверлилки, рельсошлифовалки, гайковерты, пилы, костылезабивщики и т.п. – широко применяются как на пристанционных путях, где есть возможность получать централизованное электроснабжение от энергосистемы через специальные питающие пункты, так и на путях, где таких возможностей нет. Наиболее многочисленная группа путевого переносного электроинструмента эксплуатируется в условиях автономного энергоснабжения от передвижных электростанций. Следовательно, при выборе направлений дальнейшего совершенствования путевого электроинструмента следует, прежде всего, учитывать ту его группу, которая эксплуатируется в условиях автономного питания[2].

Рассматривая комплекс работ, выполняемых при помощи путевого механизированного инструмента, проведен сравнительный анализ эксплуатационных характеристик широкого спектра инструмента. По результатам анализа можно сделать вывод о том, что именно электрошпалоподбойка является наименее технологичным инструментом, требующим от монтера пути значительных затрат энергии. Так же работы по уплотнению балласта при помощи шпалоподбойки оказывают наиболее негативное воздействие на организм монтера. Работа оператора шпалоподбойки является наиболее трудоемкой и наименее комфортной.

В процессе труда монтер пути проходит за смену путь 3,5 – 4 км, перенося инструмент на руках, совершает многократные наклоны и разгибания, создает на рукоятках усилие до 300Н. Например, при работе со шпалоподбойкой монтер пути держит ее перед собой обеими руками и приподнимает ее на 6 – 10 см от 5 до 10 раз в минуту. Поэтому работы по снижению веса инструмента и повышения комфорта работы с ним приобретают особо важное значение.

При работе электрошпалоподбойки возникают сильные вибрации, которые вызывают у монтера пути специфические болезни[3].

Исходя из выше перечисленного, сформулированы следующие задачи по модернизации ЭШП и повышении производительности выполняемых с использованием ее работ, а также снижения физических нагрузок на работника пути:

1. Повышение производительности при работе со шпалоподбойкой;
2. Повышение мобильности путем замены электродвигателя на двигатель внутреннего сгорания;
3. Уменьшение физических нагрузок на монтера пути.

Для решения первой задачи предлагается использовать клиновую подбойник (рис.1), который позволяет производить подбивку балласта одновременно под две шпалы [4]

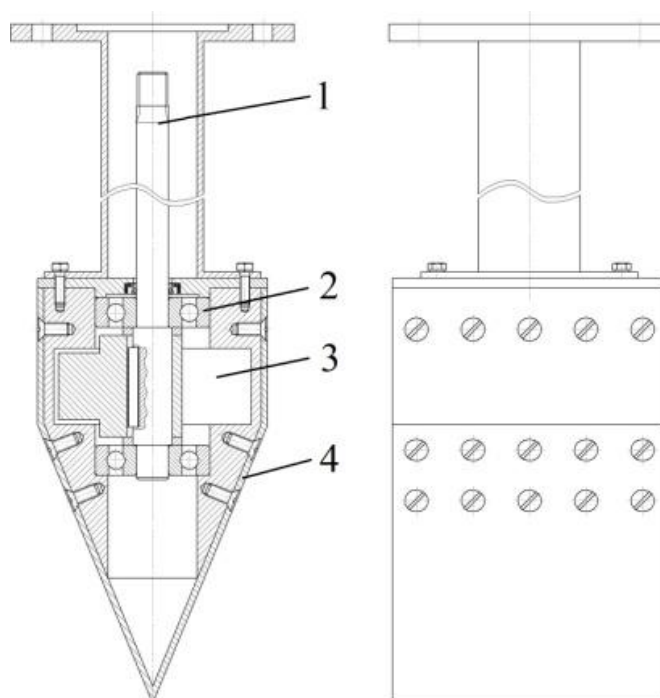


Рис. 1 - Клиновое подбойник: 1 – вал; 2 – подшипник; 3 – дебаланс; 4 – корпус

Повысить мобильность работы шпалоподбойки позволяет оснащение ее бензиновым двигателем внутреннего сгорания (рис.2), что позволяет отказаться от дополнительного источника электроэнергии, соединительных проводов и повышает безопасность работы. [5]

Наиболее сложной является задача снижения физических нагрузок на монтера пути при его работе со шпалоподбойкой, учитывая ее вес и необходимость ее перемещения вдоль фронта работ. Эту задачу можно решить с использованием предлагаемой конструкции мобильной тележки для размещения на ней шпалоподбойки (рис. 3).

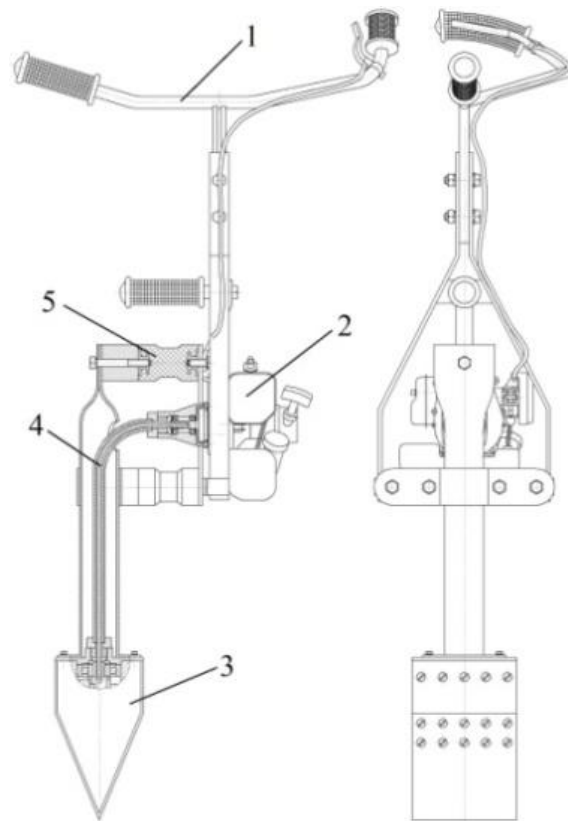


Рис. 2 - Шпалоподбойка с бензиновым двигателем и клиновым подбойником: 1 – рукоять; 2 – бензиновый двигатель; 3 – клиновой подбойник; 4 – гибкий вал; 5 – амортизатор

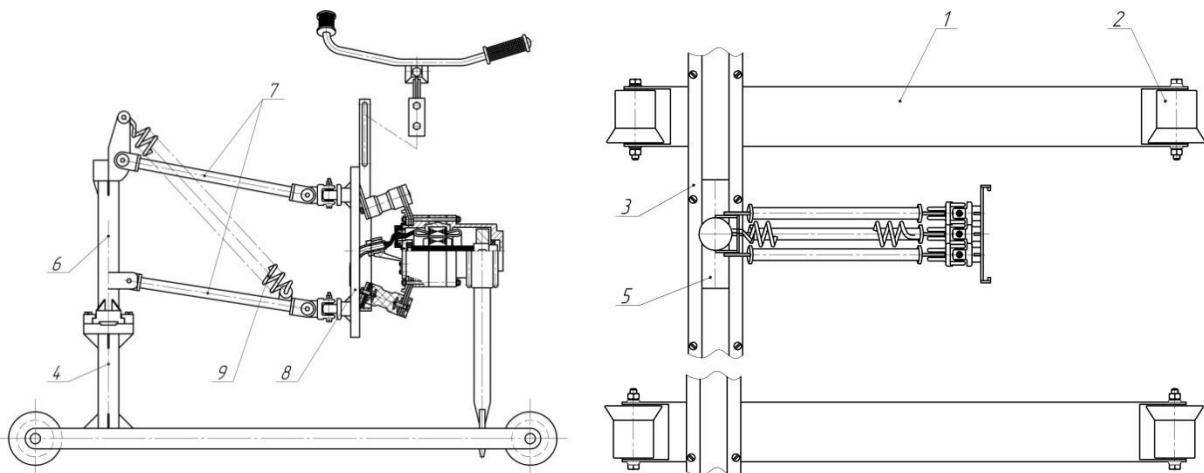


Рис. 3. Мобильная железнодорожная тележка

Тележка состоит из двух рам 1 с катками 2, соединенных балкой 3, установленной на опорах 4, на которой с помощью ползуна 5 закреплена неподвижная стойка. На неподвижной стойке установлена поворотная опора 6, к которой шарнирно крепятся тяги 7. К тягам через карданы крепится плита 8, служащая для установки шпалоподбойки. Вес шпалоподбойки компенсируется пружиной 9.

В зависимости от объема выполняемых работ на тележке могут устанавливаться две шпалоподбойки, выполняющие подбивку под двумя рель-

сами одновременно, или, при их совместной работе над одной шпалой, ее подбивку с двух сторон. Конструкция модуля позволяет устанавливать на него как шпалоподбойку с бензиновым двигателем, так и электрошпалоподбойку. В последнем случае энергоснабжение шпалоподбойки осуществляется от мобильной электростанции, установленной на дополнительной тележке, которая перемещается одновременно с подбивочным модулем. Простота и легкость отдельных узлов подбивочного комплекса позволяет устанавливать его на железнодорожный путь или снимать его для пропуска поездов двум путевым рабочим за короткий временной промежуток.

Предлагаемый подвижный модуль в сочетании с автономной бензиновой шпалоподбойкой с клиновым подбойником позволит существенно увеличить мобильность при локальных ремонтах и текущем содержании пути, повысить производительность при производстве работ и существенно снизит физические нагрузки на монтажера пути.

Предложенные выше меры по модернизации способны существенно увеличить комфорт работников с шпалоподбойкой. Помимо этого, существенно увеличивается мобильность, что напрямую уменьшает время на проведение ремонтных работ. В связи с этим уменьшается время простоя железнодорожного транспорта, что в существенной мере позволит уменьшить экономические затраты.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Крейнис З.Л., Коршикова Н.П. Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути. -М.: УМК МПС России, 2001. 768 с.

[2] Путьевой механизированный инструмент: справочник. В.М.Бугаенко, Р.Д.Сухих, И.М. Пиковский и др. / – под ред. В.М.Бугаенко, Р.Д.Сухих-М.: Транспорт, 2000. 368с.

[3] Асташев В.К. Вибрации в технике. Т. 6 -М.: Машиностроение, 1981.

[4] Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы региональной научно-технической конференции, 21-23 апреля 2015 г. Т. 3. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 212 с.

[5] Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 410 с.

Шубин Александр Анатольевич — ассистент кафедры "Детали машин и подъемно-транспортное оборудование" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shubin55@mail.ru.

Борискина Надежда Михайловна — ассистент кафедры "Детали машин и подъемно-транспортное оборудование" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k3kf@yandex.ru.

Федоров Александр Васильевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedorov@nxt.ru.

В.А. Раевский, С.А. Матвеев, П.П. Кийко

ПОВЫШЕННЫЙ ТРАВМАТИЗМ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОСТОВЫХ КРАНОВ С УПРАВЛЕНИЕМ С ПОЛА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Мостовые краны различной конструкции, обладающие разнообразными техническими характеристиками, применяют в цехах производственных и ремонтных предприятий, в складских помещениях, а также в строительной индустрии.

Организации-производители мостовых кранов часто устанавливают на новые подъемные сооружения систему управления крана с пола, либо предлагают провести подобную модернизацию существующих ПС. Производители отмечают, что установка данного вида управления позволяет существенно сэкономить трудовые ресурсы, повысить безопасность и улучшить условия работы рабочего персонала. Исключение из конструкции ПС громоздкой кабины предоставляет оператору свободу перемещения, а также возможность более оперативно и точно перемещать, и позиционировать груз, обеспечить синхронное одновременное управление парой кранов при помощи одного пульта [1].

Нельзя не согласиться, что мостовые краны, управляемые с пола посредством стационарного или дистанционного пультов управления, позволяют механизировать и облегчить труд персонала. Вместе с тем они являются достаточно распространённым источником травматизма. Известно, что производственный травматизм при использовании грузоподъемной техники занимает третье место в общем объеме травматизма при применении опасного оборудования, при этом до 25% несчастных случаев приходится на эксплуатацию мостовых кранов [2].

На предприятии «ВМК Инвест» г. Калуги произошел несчастный случай (сентябрь 2015 г.) при эксплуатации крана, управляемого с пола. Оператор крана работал в паре с двумя рабочими. При установке пакета с алюминиевыми профилями на верхний ярус первый рабочий отцепил грузозахватное приспособление от пакета и подал сигнал рукой оператору крана на подъем. Оператор крана, не проконтролировав получение сигнала от второго рабочего, начал подъем. В результате грузозахватное приспособление, полностью не отцепленное от груза, опрокинуло пакет профилей на двух рабочих, которые получили тяжелые травмы.

Рассмотрим причины возникновения подобных ситуаций.

В современных экономических условиях владельцы подъемных сооружений (ПС) стремятся снизить расходы как на регистрацию и обслуживание ПС, так и на заработную плату персонала.

Одним из способов экономии является покупка мостовых кранов, управляемых с пола, либо «перевод» мостовых кранов на этот вид управления.

В соответствии с п. «а» ст. 148 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» краны мостового типа и консольные краны грузоподъемностью до 10 т включительно, управляемые с пола посредством кнопочного аппарата, подвешенного на кране, или со стационарного пульта, а также управляемые дистанционно по радиоканалу или однопроводной линии связи не подлежат учету в органах Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [3].

Это позволяет владельцам ПС при покупке данных видов ПС и «перевод» мостовых кранов на вид управления с пола экономить средства на регистрации крана, а также избежать бумажной волокиты, связанной с самим процессом регистрации.

Однако в дальнейшем кран не подвергается надзору со стороны инспектора Ростехнадзора, который призван дать правильную и всестороннюю оценку технического состояния крана, определить полноту технической документации, круг лиц, ответственных за соблюдение правил безопасности. Надзор и обслуживание полностью ложится на инженерно-технических работников предприятия, которые по ряду причин не имеют возможности производить качественную и всеобъемлющую инспекцию, что ведет, в свою очередь, к снижению работоспособности ПС и повышению возможности аварий на ПС.

Анализ ситуации по Калужской области в сфере малого и среднего бизнеса показывает, что подъемные сооружения, на которые не распространяются требования об учете в органах Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, в большинстве случаев не подвергаются осмотрам и работают до приведения их в неработоспособное состояние. При проведении ремонтных мероприятий владельцы зачастую стремятся сократить время простоя ПС, что сказывается на качестве ремонта и в дальнейшем приводит к ухудшению общего состояния крана.

Во-вторых, экономия достигается за счет ликвидации должности крановщика и передачи обязанностей оператора крана персоналу из числа работников цеха, участка и т.п. При этом совмещение работником нескольких обязанностей приводит к потере бдительности и снижению чувства ответственности.

При переходе к управлению с пола демонтируется кабина крановщика, и оператор крана лишается хорошего обзора зоны проведения работ по подъему и перемещению грузов, открывающегося с высоты кабины. В наибольшей мере это проявляется при использовании стационарного на-

польного пульта, в меньшей степени – при использовании кабельного пульта или радиоуправления.

Кроме того, работая без кабины, оператор крана может оказаться в условиях чрезмерного шума в цеху, который является одной из основных причин повышенной утомляемости.

В-третьих, отсутствие контроля со стороны Ростехнадзора за подобными кранами ведет к тому, что владелец не проводит обучение и аттестацию персонала, связанного с работой стропальщиков. Как известно, наибольшее количество несчастных случаев при работе грузоподъемных машин связано с действиями персонала, отвечающего за строповку грузов [4]. Подобная практика со стороны владельцев ПС также ведет к повышению травматизма при работе с мостовыми кранами.

Большинство описанных причин характерно и для упомянутого выше несчастного случая: рабочие, производящие зацеп и отцеп пакета профилей, не имели аттестации стропальщика; между оператором крана и рабочими отсутствовала радиосвязь, зона работы крана не просматривалась, следовательно, оператор крана не видел, полностью ли произведен отцеп груза рабочими.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что на сегодняшний день использование мостового крана, управляемого с пола либо переоборудование крана на данный тип управления, происходит без должного и всестороннего анализа безопасности работы, исходя из условий и характера производства, будь то сталелитейный цех, складская площадка, цех по производству малогабаритной продукции.

С правовой точки зрения считаем, что отсутствие контроля органами Ростехнадзора за мостовыми и консольными кранами, управляемыми с пола, приводит со стороны владельцев этих ПС к нарушению требований:

1) ст.125, п. «а», «б», «е» ст. 150 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения», требующих обеспечить выполнение требований промышленной безопасности и содержание ПС в работоспособном состоянии, безопасные условия их работы путем организации надлежащего надзора и обслуживания, технического освидетельствования и ремонта;

2) п.1 ст. 9 Федерального закона от 21.07.1997 N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», требующих обеспечить допуск к работе на опасном производственном объекте лиц, удовлетворяющих соответствующим квалификационным требованиям, проведение подготовки и аттестации работников в области промышленной безопасности [5];

3) ст. 212, 219, 225 Трудового кодекса Российской Федерации, требующих обеспечить со стороны работодателя работнику безопасные усло-

вия и охрану труда, труд в условиях, отвечающих требованиям охраны труда, гарантировать обучение в области охраны труда [6].

1. Мостовые краны, управляемые с пола [Электронный ресурс] // Компания ЕвроКран [Официальный сайт] URL: <http://taly.ru/gruzopodemnoe-oborudovanie/mostovye-kranu-upravlyaemye-s-pola.html> (дата обращения 25.10.2015).

2. Соловьев А.Е. О состоянии промышленной безопасности на промышленных предприятиях, расположенных на территории Свердловской области, и принимаемых мерах по ее обеспечению. *Сб. докладов и сообщений V Уральского конгресса подъемно-транспортного оборудования*, 2012, с. 17–25.

3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_157709/ (дата обращения 26.10.2015).

4. Шишков Н.А. Пособие стоптальщику по безопасному ведению работ грузоподъемными кранами Москва, Научно-производственное объединение ОБТ, 1993, 164 с.

5. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_15234/ (дата обращения 28.10.2015).

6. «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.10.2015). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения 28.10.2015).

Раевский Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: var-77@mail.ru.

Матвеев Сергей Анатольевич –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: matveev@ritc-k.ru.

Кийко Павел Петрович –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: 1984707@gmail.com.

Д.Г. Мокин, П.П. Кийко, С.А. Матвеев

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТКИ НАВЫКОВ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ ДЕФЕКТОВ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время для диагностирования локализации внутренних дефектов в металлических конструкциях, является метод акустической эмиссии (АЭ), который, как известно, основан на излучении колебаний дислокаций в материале при его нагружении [1]. При этом излучаемая волна фиксируется пьезоэлектрическим датчиком. Если установить два таких датчика, между которыми возможно находится внутренний дефект в материале, то по сигналу АЭ, полученного этими датчиками, можно оценить место дефекта, а также возможно охарактеризовать его размеры. Такой принцип анализа информации используется в приборе Uniscopre фирмы «Интерюнис» [2].

В калужской области данный прибор есть в наличии у компании «Региональный инженерно-технический центр» (РИТЦ). С помощью прибора Uniscopre (далее прибор) можно производить диагностику металлоконструкций грузоподъемных машин, строительных конструкций, трубопроводов, котлов, сосудов под давлением и др. Методика проведения диагностики по методу АЭ расписана в руководящем документе [3]. Данные правила позволяют выявлять и классифицировать источники АЭ. Оператору, работающему с данным прибором необходимо знать не только теоретические основы метода АЭ, но и иметь практические навыки в обнаружении внутренних дефектов. С этой целью, для подготовки персонала по работе с данным методом АЭ и прибором на базе лаборатории неразрушающего контроля и диагностики, открытой в КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с компанией «РИТЦ» [4], разрабатывается стенд, который позволит получать практические навыки для обнаружения дефектов с помощью имеющегося оборудования.

Стенд представляет собой установку, на которой закреплена диагностируемая пластина. Эта пластина может нагружаться, для создания напряжений внутри нее. Если пластина имеет внутренние дефекты, то возникают, под действием напряженно-деформированного состояния акустические волны, распространяющиеся в материале. Установленные на пластине датчики преобразователи АЭ (ПАЭ) улавливают волны и передают информацию в прибор, на экране которого эта информация выдается в графическом виде. Зная скорость распространения волн в материале, расположение ПАЭ и время, когда волна дошла до датчика, можно локализовать (определить место положения) источник распространения акустической волны. Этот источник и есть внутренний дефект в материале. Фиксируе-

мый уровень волны может дать информацию о размере этого дефекта. Эскиз стенда представлен на рис. 1.

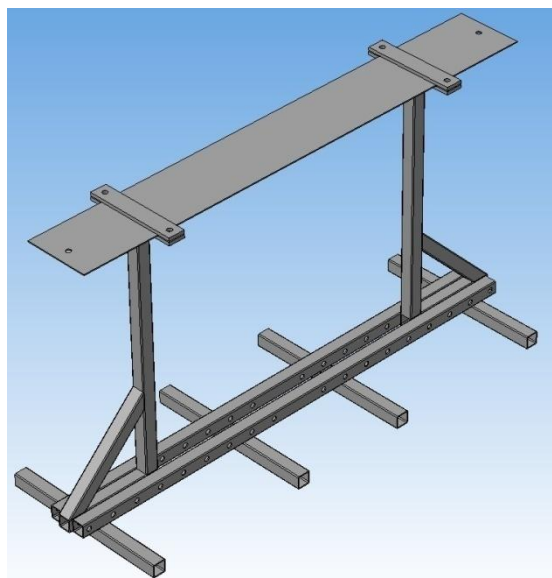


Рис. 1. Стенд для диагностики.

Испытуемый образец представляет собой пластину определенной длины, ширины и толщины. Эта пластина закреплена на двух стойках. Нагружение на пластину создается за счет подвеса грузов определенной массы на ее концах. Для определения габаритов диагностируемой пластины (длина, ширина, толщина) была разработана программа в LabVIEW по определению этих размеров. Окно программы представлено на рис. 2.

В программе заложен расчет по определению напряжений в балке, по схеме, приведенной на рис. 3. [5]

В программе задаются конкретные размеры пластины и расстояния между опорами, а также указываются предел текучести и модуль упругости материала. Программа определяет необходимую нагрузку на консольных концах пластины, для создания напряженно-деформированного состояния, которое является заданным процентом от предела текучести материала. Так же программа позволяет оценить прогиб пластины в любой ее точке. В итоге программа позволила подобрать габариты пластины при создании в ней напряжений равных 75% от предела текучести. При нагружении на концах не более 100кг. Такие значения напряжений возникают при толщине пластины не более 1,5мм, ширине не более 100мм и при расстоянии между опорами до 800мм.

Для обучения персонала, работающего с прибором на данном стенде, требуется несколько видов пластин. Одна пластина, так называемая без дефектная, другие, имеющие дефект. В качестве создания явно выраженного дефекта в пластине выступает отверстие не более 1мм в диаметре, но для оценки размера дефекта предполагается наличие отверстий разного диаметра. Все дефектные пластины имеют отверстия с различным диамет-

ром и положением отверстий на пластине. Каждая пластина имеет свой уровень сложности (наличие дефектов). Так, например, пластина с одним дефектом имеет одно отверстие. Таких пластин может быть несколько, у которых отверстия разные по диаметру и положению отверстий. Это дает возможность получить навык оператору в определении скрытого дефекта по полученной информации на дисплее прибора, т.е. локализацию и размер дефекта. Другим видом пластины является пластина, на которой не одно, а два отверстия. Сами отверстия могут иметь разный диаметр и расположение. Все это позволит получить определенные навыки по определению, как по положению, так и по размеру скрытых дефектов на основании данных на дисплее прибора при проведении диагностирования на реальных объектах металлоконструкций и др.

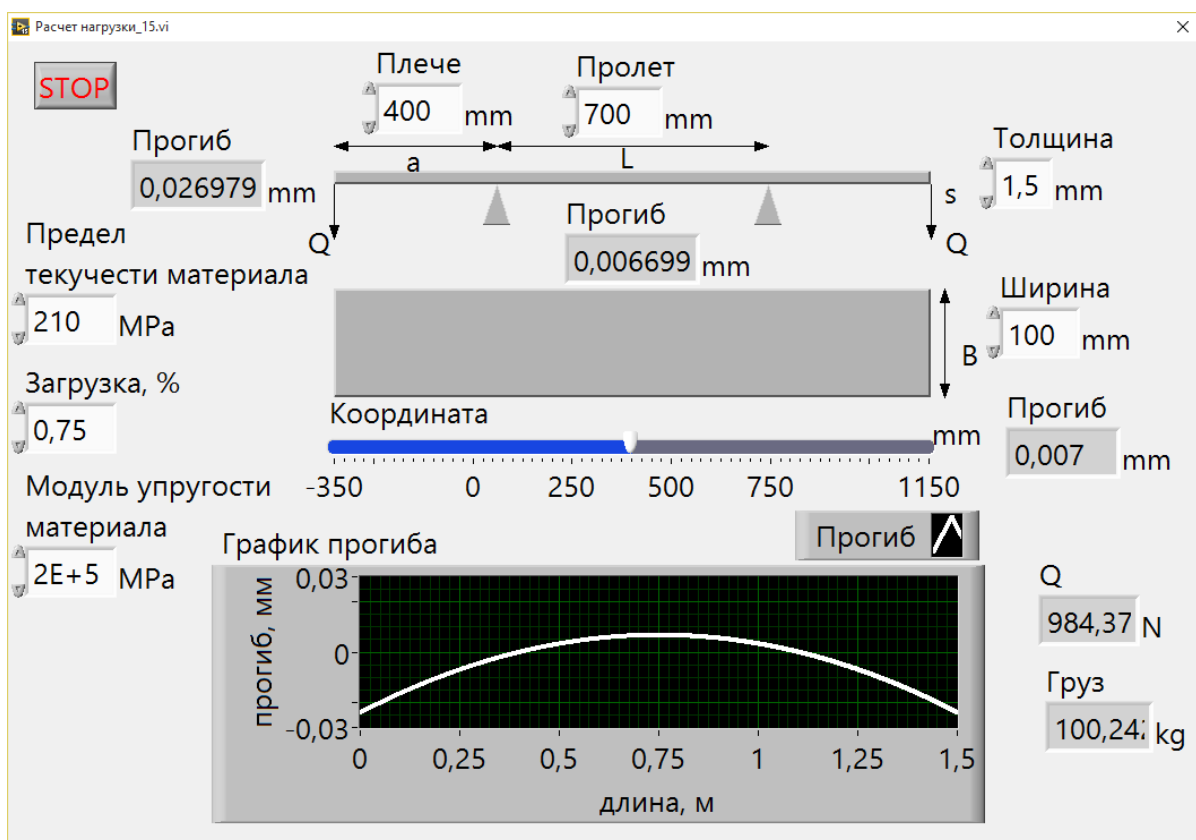


Рис. 2. Окно программы по расчету консольных сил на пластину.

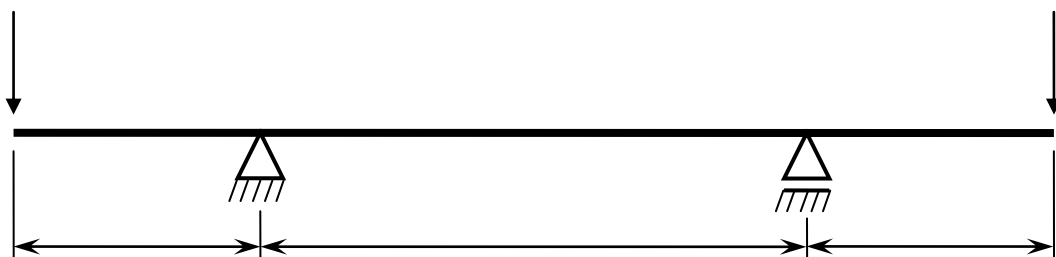


Рис. 3. Расчетная схема балки.

В дальнейшем сотрудники «РИТЦ», получившие соответствующие навыки по работе, с имеющимся прибором, смогут высокой степенью точности определять (локализовать) все, даже незначительные дефекты в металлоконструкциях грузоподъемных машин, строительных конструкций, трубопроводов, котлов, сосудов под давлением и др. Необходимость проведения такой работы основана на итогах прошедшей 8-12 ноября 2010г., в г. Москве II Международной Научно-Технической Конференции «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕТОДЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ» [6].

Используемая литература:

1. Назначение методов контроля [электронный ресурс] / офиц. сайт центр аттестации лабораторий и специалистов. URL: <http://oocalis.ru/naznachenie-metodov-kontrolya.html> (дата обращения: 31.10.15)
2. UNISCOPE. Общий вид и характеристики [электронный ресурс] / офиц. сайт интерюнис. URL: <http://www.interunis.ru/ru/produkcziya-a-line-32d/uniscope.html> (дата обращения: 31.10.2015)
3. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов [Текст]: ПБ 03-593-03, утв. Госгортехнадзором России 09.06.2003: ввод в действие с 21.06.2003. — М.: ПИО ОБТ, 2003. — 58с.
4. В КФ МГТУ открыта лаборатория неразрушающего контроля и диагностики [электронный ресурс] / офиц. сайт весть-news. URL: <http://www.vest-news.ru/news/72517> (дата обращения: 31.10.15)
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. – 10-е издание, перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. — 592 с.
6. Итоги II международной научно-технической конференции "Инновационные технологии в методе акустической эмиссии" [электронный ресурс] / офиц. сайт интерюнис. URL: <http://www.interunis.ru/ru/articles/statya-27.html> (дата обращения: 31.10.15)

Мокин Дмитрий Геннадьевич — канд. техн. наук, доцент кафедры "Детали машин и подъемно-транспортное оборудование" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mdg-80@yandex.ru.

Матвеев Сергей Анатольевич –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: matveev@ritc-k.ru.

Кийко Павел Петрович –инженер ООО «Региональный Инженерно-Технический Центр». E-mail: 1984707@gmail.com.

П.В. Витчук, К.С. Рыжов

ПРИМЕНИМОСТЬ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ПАРКОВОК В МАЛОЭТАЖНЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ И ЧАСТНЫХ ЖИЛЫХ ДОМАХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Малоэтажное многоквартирное и частное строительство в бюджетном ценовом сегменте характеризуется недостаточностью земельных площадей (постройки на дачных участках, таун-хаусы, «швейцарские деревни», а также многоквартирные малоэтажные дома эконом-класса в черте города). Поэтому, несомненно, рост интенсивности строительства подобного класса зданий наряду с относительной доступностью автомобилей обуславливает проблему размещения последних в условиях ограниченного пространства. Кроме того, в последнее время увеличилось количество используемой малогабаритной сезонной моторизированной техники (в теплое время года – квадроциклы, мотоциклы, газонокосилки и др., в холодное – снегоуборочная техника, снегоходы и др.). Подобная техника, наряду с традиционным подсобным инструментом (лопаты, грабли, ведра и др.) также требует значительного места для хранения в период, когда не используется по назначению.

Поэтому актуальность разработки механизированных парковок для малоэтажных многоквартирных и частных жилых домов не вызывает сомнений.

Проведем анализ некоторых известных конструкций парковок [1-6].

По расположению относительно уровня земли они могут быть:

1. Наземные (рис. 1);
2. Подземные (рис. 2);
3. Комбинированные.

Наземные парковки обычно имеют двухъярусное (реже – трехъярусное) исполнение [1, 2].

Размеры парковочных мест могут быть как стандартными (для размещения легковых автомобилей), так и уменьшенными (для размещения малогабаритной моторизированной техники) или увеличенными (для размещения крупногабаритной техники) [1-3].

По размещению подземные парковки могут быть [3]:

1. Индивидуально возводимого подземного гаража;
2. Гаража на цокольном этаже жилого дома.

По количеству размещаемой техники и способу ее размещения [1-3]:

1. Для двух или нескольких единиц техники, размещаемых на одном уровне, с независимыми подъемными механизмами;

2. Для двух или нескольких единиц техники, размещаемых на одном уровне, с одним подъемным механизмом с увеличенной грузоподъемностью и площадью платформы;

3. Для двух (реже – трех) единиц техники, размещаемых друг под другом с одним подъемным механизмом;

4. Одноуровневый подземный гараж любой вместимости с автомобильным лифтом;

5. Двух- и более уровневый подземный гараж любой вместимости с автомобильным лифтом;



Рис. 1. Наземная механизированная парковка [2]

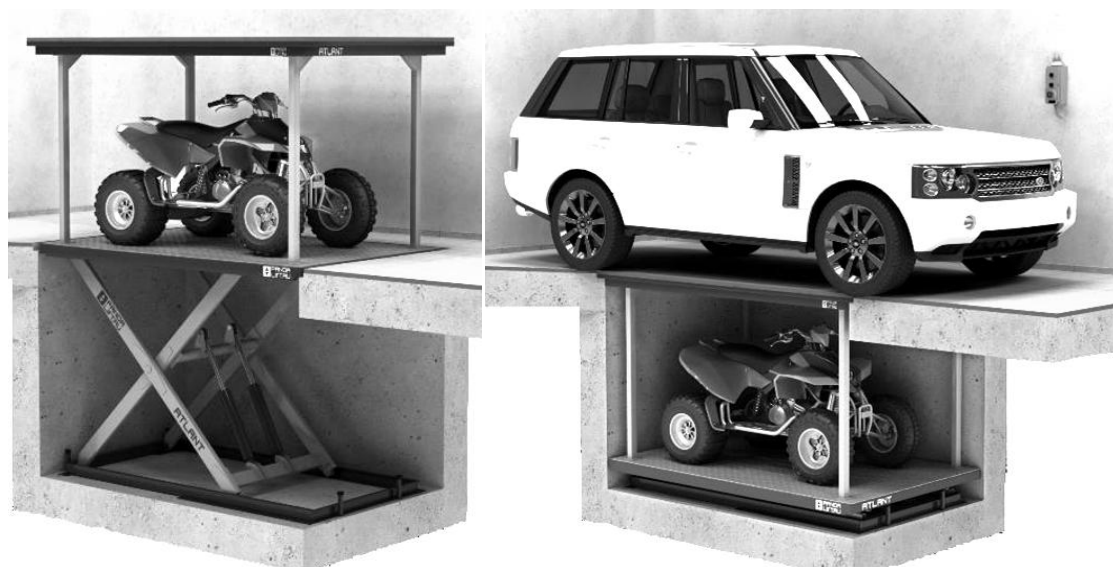


Рис. 2. Подземная механизированная парковка [3]

Определяющими факторами при выборе наземного или подземного исполнений парковок могут являться следующие практические соображения:

1. Подземные парковки позволяют добиться лучшей экономии полезной наземной площади;

2. Подземные парковки более эстетичны;

3. Стоимость одного машиноместа на подземной парковке, минимум, в два раза выше стоимости аналогичного машиноместа при наземном размещении техники; это связано с затратами на рытье котлованов, удаление

грунта с территории и возведение бетонных конструкций служащих основанием подземных гаражей и т.д.;

4. Невозможность или нецелесообразность установки подземной парковки в ряде случаев: каменистый грунт, близко расположенные грунтовые воды и т.д.;

5. В случае отказа механизма подъема платформы процесс извлечения техники с наземной парковки значительно проще.

Очевидно, что для бюджетного ценового сегмента определяющим фактором является стоимость. Как показал проведенный нами социологический опрос, для граждан с заработком, равным или меньше среднестатистического, наиболее приемлемая стоимость одного машиноместа составляет 100-150 тысяч рублей (по состоянию на сентябрь 2015 года). Этому условию соответствуют только наземные парковки.

Конструкция механизмов подъема платформ весьма разнообразна [1-6]: Это, например: рычажные подъемники ножничного (рис. 2) и параллелограммного типа (рис. 3), стоечные подъемники (рис. 4) и др.

В качестве привода механизма подъема платформы могут быть использованы:

1. Электромеханический привод с канатной или цепной тягой, рычажной, винтовой или реечной передачей;

2. Гидравлический привод с канатным мультипликатором, с рычажной передачей, с прямым воздействием на платформу;

3. Пневматический привод с рычажной передачей или с прямым воздействием на платформу.

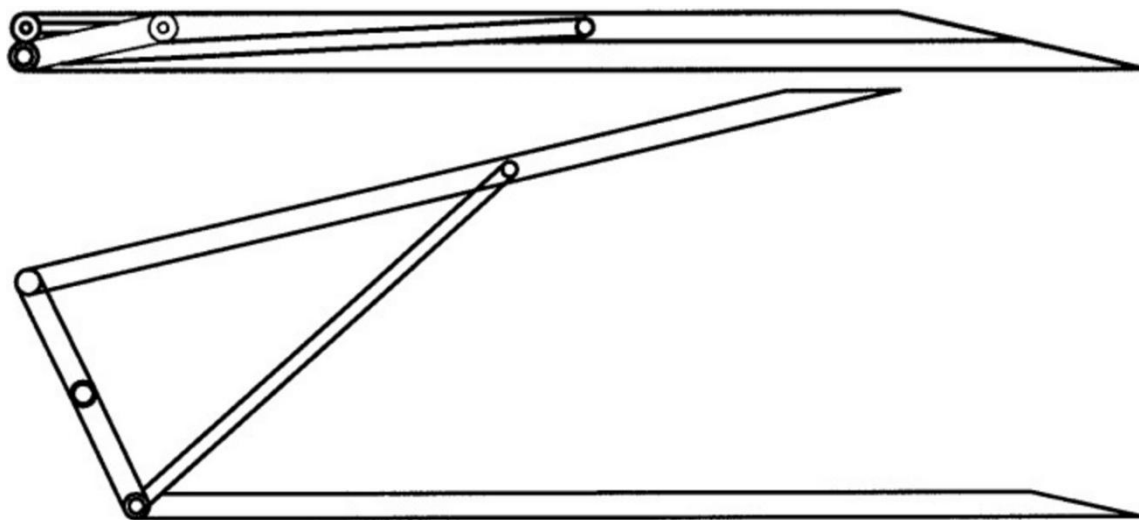


Рис. 3. Рычажный подъемник параллелограммного типа [4]

Вопрос о применимости того или иного типа механизма подъема должен осуществляться на основе проведения комплексного технико-экономического анализа.

При этом можно руководствоваться следующими соображениями:

1. Должны быть обеспечены требуемые грузоподъемность и скорость подъема;
2. Механизм должен быть компактным;
3. В случае, если привод по каким-то причинам не работает должен быть предусмотрен альтернативный способ перемещения техники, лучше всего – ручной привод;
4. В случае двух- и более ярусного расположения единиц техники должны быть предусмотрены фиксаторы крайних положений платформы;
4. Все движущиеся части по возможности должны иметь защитные панели во избежание случайных травм;
5. Должна быть предусмотрена возможность эксплуатации в условиях пониженных температур и повышенной загрязненности.

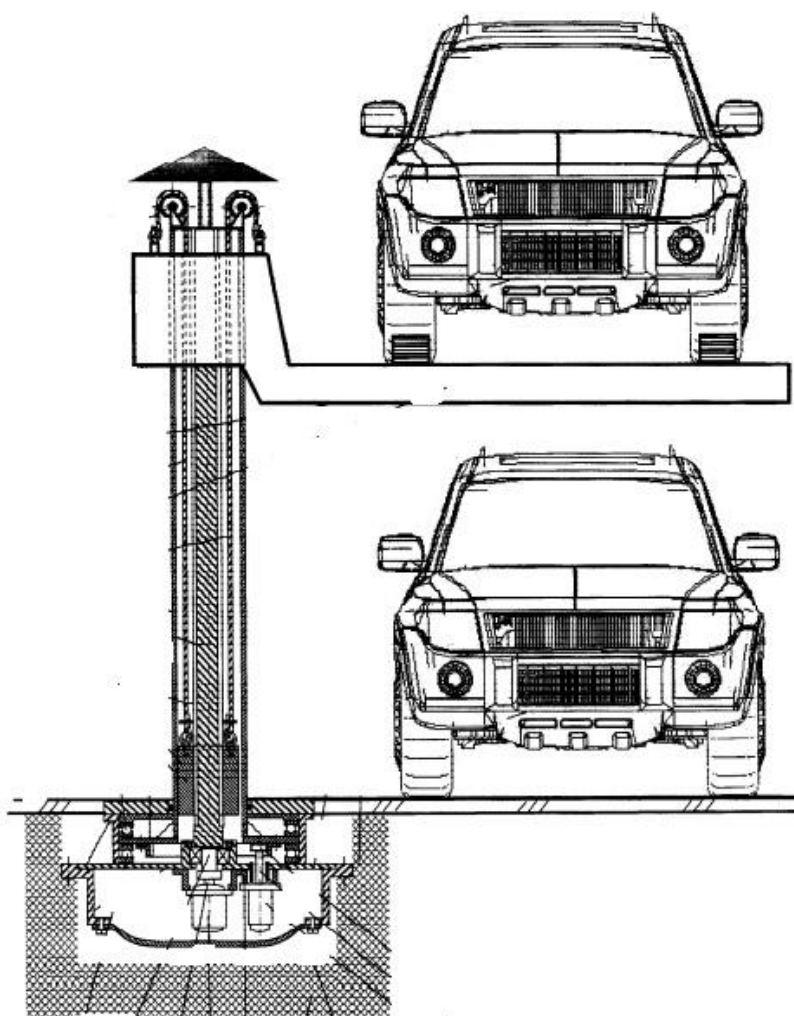


Рис. 4. Парковка на основе стоечного подъемника [5]

Достаточно часто на практике встречается ситуация с центральным расположением ворот и дома (гаража) относительно земельного участка. В таких случаях угловые площади, расположенные по бокам от ворот, являются «мертвыми зонами», хотя рациональным может быть использование их под парковки. В этом случае компоновочная схема механизирован-

ной парковки может быть выполнена на основе механизма горизонтального перемещения или дополнена им.

Таким образом, основными требованиями, предъявляемыми к механизированных парковок в малоэтажных многоквартирных и частных жилых домах, являются:

1. Дешевизна;
2. Универсальность и модульное исполнение, что позволит для любых хозяйственных нужд подобрать требуемый комплект элементов парковки;
3. Надежность и безопасность в использовании.

Реализация указанных требований позволит решить существующую и с каждым годом все более острую проблему размещения различной техники (в основном – автомобилей) в условиях, в первую очередь, бюджетного ценовом сегмента строительства.

Стоит отметить, что двух- трехъярусные наземные парковки могут также быть использованы для решения проблем размещения автомобилей во дворах зданий 70-80х годов постройки.

Литература

1. Официальный сайт компании ООО «АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПАРКОВОЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ» (NEO-PARK) [электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.neo-park.ru/> (дата обращения 21.10.2015);
2. Официальный сайт компании «АВТО-ПАРКС» [электронный ресурс]. – Режим доступа <http://avto-parks.ru/> (дата обращения 21.10.2015);
3. Официальный сайт компании «PandaLift» [электронный ресурс]. – Режим доступа <http://pandalift.ru/> (дата обращения 21.10.2015);
4. Сайт FindrPatent[электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.findrpatent.ru/patent/232/2326219.html>
5. Устройство двухуровневой парковки автомобилей: пат. 2481445 Рос. Федерация: МПК E04H6/00 / Пестряков В.П. – № 2011123161/03; заявл. 09.06.2011; опубл. 10.05.2013.
6. Механизированный модульный гараж пат. 2526938 Рос. Федерация: МПК E04H6/00 / Виноградов М.Н. – № 2013104464/03; заявл. 04.02.2013; опубл. 27.08.2014.
7. Архангельский Г.Г, Бабичев С.Д., Ваксман М.А., Котельников В.С. Гидравлические лифты / под общ. ред. Архангельского Г.Г. – М.: изд-во АСВ, 2002. – 346 с.
8. Баранов А. П., Голутвин В. А. Подъемники. – Тула: издательство ТулГУ, 2004. – 150 с.
9. Лифты. Учебник для вузов /под общей ред. Д.П.Волкова. - М.: изд-во АСВ, 1999. - 480 стр. с ил.

Витчук Павел Владимирович — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zzzventor@ya.ru.

Рыжов Кирилл Сергеевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ryjov.kirill@yandex.ru.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Пакетированные грузы, контейнеры и аппараты испытывают путем сбрасывания с заданной высоты. Для этого проектируют стенд в виде подъемника, оснащенного сбрасывающим устройством. Стенд передвигают к месту сбрасывания груза по горизонтальным рельсам. Проектирование механизма передвижения проводилось в рамках участия в проекте “Луна-Глоб”, разрабатываемого ФГУП “НПО им. С.А. Лавочкина”.

При анализе вариантов механизмов передвижения был отклонен не приводной вариант и механизм передвижения с приводными ходовыми колесами. Первый требует больших мускульных усилий, а второй – приводы минимум на два колеса из 8-ми, на которых установлен стенд. Но и в этом случае возможно буксование колес, например, при попадании на рельс влаги и масел, в результате чего возможен перекося рамы стенда. Поэтому нами выбрана более надежная схема механизма передвижения, а именно – с канатной тягой.

Цель работы – определить рациональные параметры механизма передвижения с канатной тягой на примере стенда массой $m = 8000$ кг.

Вертикальная сила, действующая на тележку

$$F_V = m \cdot g = 8000 \cdot 9,81 = 78500 \text{ Н},$$

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Сила сопротивления трения качения, приведенная к ободу колеса

$$F_T = F_V \frac{2\mu + fd}{D} k_p = 78500 \cdot \frac{2 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} + 0,015 \cdot 0,04}{0,18} \cdot 1,1 = 576 \text{ Н},$$

где $\mu = 0,4 \text{ мм} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – плечо трения качения колеса по рельсу;

$f = 0,015$ – коэффициент трения подшипников (шариковых и роликовых);

$d = 0,04 \text{ м}$ – внутренний диаметр подшипника;

$k_p = 1,1$ – коэффициент реборды при наличии боковых направляющих роликов [1], табл. 3...6.

Сила сопротивления движению тележки при уклоне пути

$$F_y = \alpha \cdot F_V = 0,003 \cdot 78500 = 236 \text{ Н},$$

где $\alpha = 0,003$ или $\alpha = 0,003 \cdot 180^\circ / \pi = 1,72^\circ$ – уклон пути для козловых кранов [1].

Плечо горизонтальной силы при наезде на препятствие высотой $h = 0,2 \text{ мм}$ составит:

$$l = \sqrt{R^2 - (R - h)^2} = \sqrt{0,09^2 - (0,09 - 0,2 \cdot 10^{-3})^2} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

где $R = 0,09$ м – радиус ходового колеса; l – половина хорды AC (рис.1).

Сила сопротивления движению тележки при наезде на неровность одним из колес

$$F_{II} = \frac{F_V \cdot l}{iR} = \frac{78500 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 0,09} = 1310 \text{ Н,}$$

где $i = 4$ – число колес (если $i = 8$ – считаем, что наезд возможен для двух колес одновременно).

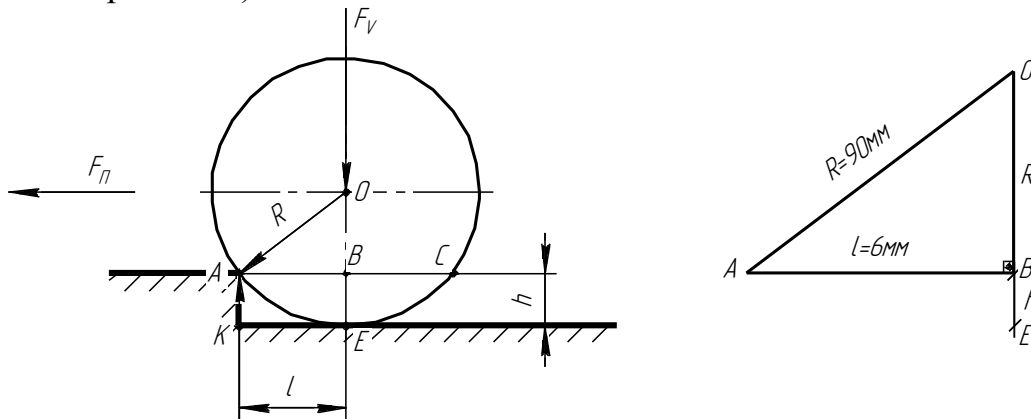


Рис.1.Схема наезда ходового колеса на неровность

Статическая сила натяжения каната или суммарная сила сопротивления движения тележки

$$F_{\Sigma} = \frac{F_T + F_Y + F_{II}}{\eta} = \frac{576 + 236 + 1310}{0,98} = 2170 \text{ Н,}$$

где $\eta = 0,98$ – коэффициент полезного действия обводного блока.

Расчетное разрывное усилие для выбора каната из каталога

$$S = z \cdot F_{\Sigma} = 4 \cdot 2170 = 8680 \text{ Н,}$$

где $z = 4$ – коэффициент запаса прочности для тяговых канатов [1], п.13.4. Выбираем канат ГОСТ 2688, маркировочная группа 1770 МПа, разрывное усилие каната в целом $[F] = 21000$ Н, диаметр каната $d_k = 6,2$ мм.

Коэффициент запаса прочности каната без учета пуска или стопорения двигателя

$$n = \frac{[F]}{F_{\Sigma}} = \frac{21000}{2170} = 9,7 .$$

Мощность электродвигателя

$$P = \frac{F_{\Sigma} \cdot V}{\eta_m} = \frac{2170 \cdot 0,1}{0,7} = 310 \text{ Вт,}$$

где $V = 0,1$ м/с – скорость передвижения;

$\eta_m = 0,7$ – КПД механизма с червячным редуктором (рис.2).

Выбираем двигатель с повышенным скольжением:

4АС71А6У3, мощность 400 Вт, частота вращения $n_e = 920$ об/мин, отношение максимального момента к номинальному $k = T_{\max} / T_{\text{ном}} = 2,1$ [2].

Диаметр барабана, по средней линии каната

$$D \geq h_1 \cdot d_k = 12,5 \cdot 6,2 = 77,5 \approx 100 \text{ мм} ,$$

где $h_1 = 12,5$ – коэффициент выбора диаметра барабана по ИСО 4301/1 при общей продолжительности эксплуатации 200 час; режим нагружения L4, коэффициент распределения нагрузок 1,0 [2].

Угловая скорость барабана

$$\omega_B = \frac{2V}{D} = \frac{2 \cdot 0,1}{0,1} = 2 \text{ рад/с} .$$

Угловая скорость двигателя

$$\omega_e = \frac{\pi \cdot n_e}{30} = \frac{3,14 \cdot 920}{30} = 96,2 \text{ рад/с} .$$

Номинальный крутящий момент двигателя

$$T_{ном} = \frac{P}{\omega_e} = \frac{400}{96,2} = 4,15 \text{ Н} .$$

Передаточное число редуктора

$$U = \frac{\omega_e}{\omega_B} = \frac{96,2}{2} = 48 .$$

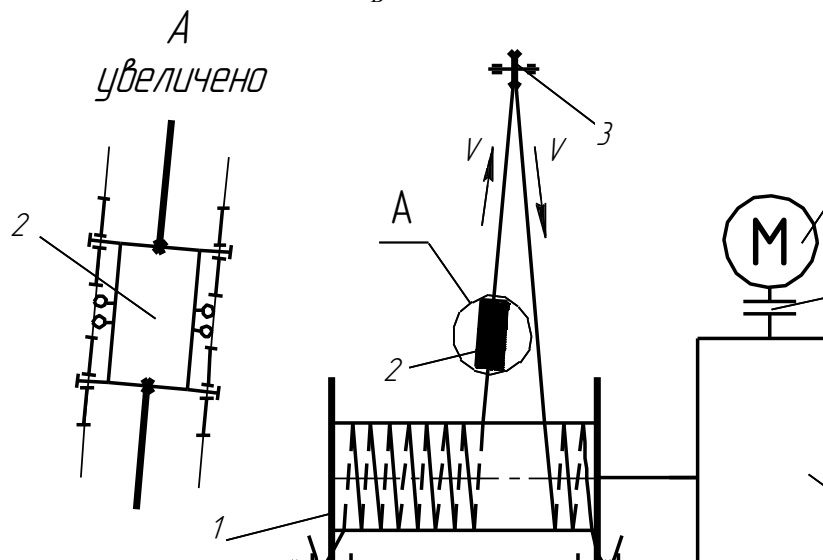


Рис.2. Механизм передвижения с канатной тягой
1 - ненарезной (гладкий) барабан; 2 – тележка; 3 – обводной блок; 4 – двигатель; 5 – муфта; 6 – редуктор

Крутящий момент на выходном валу редуктора и барабане

$$T_B = \frac{S \cdot D}{2} = \frac{8680 \cdot 0,1}{2} = 4340 \text{ Нм} .$$

Выбираем редуктор Ч – 125. Передаточное число $U = 50$; номинальный момент $T_{ном} = 7170 \text{ Нм}$; масса 86 кг; КПД = 0,73 [2], с.30.

Наибольшее натяжение каната при пуске и стопорении тележки

$$F_{max} = \frac{k \cdot T_{ном} \cdot U \cdot \eta_m}{D} = \frac{2,1 \cdot 4,15 \cdot 50 \cdot 0,7}{0,1} = 3050 \text{ Н} .$$

Очевидно, что канат имеет коэффициент запаса прочности при пуске двигателя и стопорении тележки:

$$n' = [F] / F_{\max} = 21000 / 3050 \approx 7.$$

Значение $n'=7$ превышает рекомендуемое значение $n=4$, но уменьшать диаметр каната менее $d_k=6,2$ мм не следует, т.к. канат расположен внизу и имеет тонкие проволоки диаметром 0,3 мм, которые могут быть повреждены персоналом при обслуживании стенда.

Вал двигателя 4АС71 цилиндрический, диаметр 19 j6, длина 40 мм, масса двигателя 15 кг, момент инерции ротора $J_e=0,0017$ кг·м² [2], с.30.

Входной вал редуктора Ч-125 расположен под выходным валом, вариант 1 [2], с.30, конический, диаметр 70 мм, длина посадочной части 105 мм, общая длина 110 мм (рис.3).

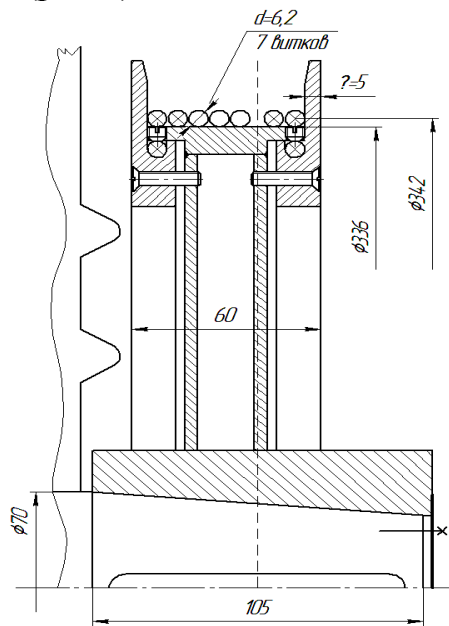


Рис.3. Барабан механизма передвижения с канатной тягой на валу редуктора Ч-125

Муфта упругая втулочно-пальцевая: $T = 125$ Нм. Момент инерции $J_m=0,00625$ кг·м².

Преобразуем формулу условия пуска двигателя [2] с.424:

$$t_n = \frac{\omega_e \cdot \left[1,2 \cdot (J_e + J_m) + \frac{m_T \cdot D^2}{4 \cdot U^2 \cdot \eta} \right]}{T_s - \frac{F_{\Sigma} \cdot D_{x.k.}}{U \cdot \eta}}, \quad (1)$$

где пусковой момент двигателя,

$$T_s = 2 \cdot T_H = 2 \cdot 4,15 = 8,3 \text{ Нм}.$$

Получим время пуска по формуле (1):

$$t_n = \frac{96,2 \cdot \left[1,2 \cdot (0,0017 + 0,0025) + \frac{8000 \cdot 0,18^2}{4 \cdot 50^2 \cdot 0,7} \right]}{8,3 - \frac{2170 \cdot 0,18}{2 \cdot 50 \cdot 0,7}} = 1,65 \text{ с.}$$

Время пуска приемлемо от 1 до 3 с – для двигателей с повышенным скольжением, поэтому принятые комплектующие изделия оставляем без изменения.

Дополнительное (динамическое) усилие в канате при пуске

$$a = F_{\Sigma} \cdot \frac{V}{t_n} = 2170 \cdot \frac{0,1}{1,65} = 132 \text{ Н.}$$

Очевидно, что это динамическое усилие пренебрежимо мало по сравнению со статическим усилием $F_{\Sigma} = 2170 \text{ Н}$, т.е. пуск происходит плавно – по усилию и быстро – по времени.

Выводы:

1) Среди возможных схем механизмов передвижения стенда, наиболее приемлем механизм передвижения с канатной тягой и боковыми направляющими роликами. Он исключает буксование колес по рельсу, не приводит к перекосу рамы стенда и увеличению сопротивления передвижения.

2) Для стенда массой 8 т определены рациональные параметры механизма передвижения с канатной тягой. Так как механизм расположен на фундаменте, то может быть применен сравнительно тяжелый, но бесшумный червячный редуктор с канатным барабаном на выходном валу. Усилие в канате не превышает допустимую консольную нагрузку на выходном валу редуктора. Возможно применение барабана с односторонней навивкой сверху и снизу, без нарезки барабана.

3) Предложенная методика расчета может быть использована для механизмов передвижения с канатной тягой в приложении к стендам с другими значениями массы.

Список литературы:

1. Краны грузоподъемные. Механизм передвижения. Метод расчета. РТМ 24.090.28-77. М.: Изд-во НИИИНФОРМАТЯЖмаш, 1978.
2. Подъемо-транспортные машины: Атлас конструкций / Под ред. М.П. Александрова и Д. Н. Решетова. – Машиностроение, 1987.
3. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Под ред. М. М. Г о х б е р г а. — М.: Машиностроение, 1988.

Ермоленко Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tvermolenko@rambler.ru.

Болтнева Анна Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: annrash1994@yandex.ru.

Артемьев Артем Валентинович – главный конструктор ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», г. Химки. E-mail: arav@laspase.ru.

С.Л.Заярный, А.А.Фомин

РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ПОДАТЛИВОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОГО КОНТАКТНОГО СЛОЯ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

При расчете соединения деталей аналогом конструкционных и технологических связей между ними может быть эквивалентный контактный слой (ЭКС) [1,2]. При этом ЭКС рассматривается как третье тело, обладающее особыми механическими свойствами. Свойства ЭКС в зависимости от сдвигающего усилия могут быть описаны в форме линейно-упругой и нелинейно-упругой модели (рис. 1).

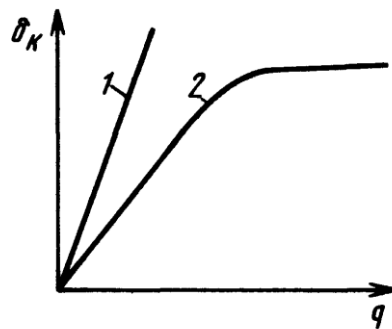


Рис. 1 Модели эквивалентного контактного слоя в координатах нагрузка - перемещение: 1 – линейно-упругая модель ; 2 – нелинейно-упругая модель.

Характеристикой ЭКС является его податливость, которая может быть определяются экспериментальными или расчетными методами [3].

Рассмотрим случай передачи нагрузки соединение деталей на примере соединением с натягом (СН) [4]. Преобладающей нагрузкой при этом является крутящий момент. Характер распределения крутящего момента и перемещений в СН может быть установлен путем составления баланса перемещений элемента dz , выделенного двумя поперечными сечениями на расстоянии от края посадочной поверхности (рис.2). В этом случае угловые перемещения в СН с учетом ЭКС определяются: круговыми перемещениями втулки и вала: круговыми перемещениями в пределах ЭКС. Согласно принципа плоских сечений, кручения сплошного тела может быть представлено как послойное скручивание концентрично расположенных цилиндрических поверхностей, вызванное касательными напряжениями на торцах. При этом принимается, что взаимодействие между слоями, вызванное касательными напряжениями на концентрических поверхностях, что приводит к их относительному смещению[5].

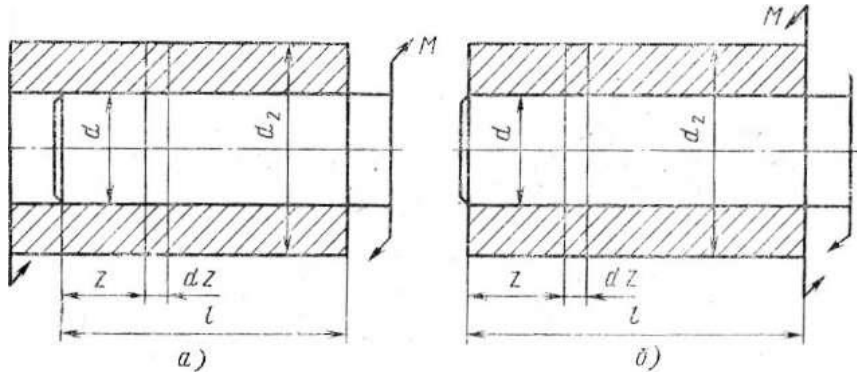


Рис. 2 Схема нагружения СН крутящим моментом

При нагружении СН крутящими моментами с разных сторон (рис.2, а) в сечении с координатой z втулкой передается момент M_z , а валом – момент $M - M_z$. Приращение момента на длине dz составит dM_z . При нагрузке с одной стороны в сечении z (рис.2, б) втулкой и валом передается момент M_z . В обоих случаях приращение момента на длине dz составит dM_z .

Из условия равновесия:

$$dM_z = \pm \pi d^2 \tau_z dz / 2, \quad (1)$$

где τ_z - касательные контактные напряжения в стыке; d - средний диаметр сопряженных поверхностей.

После составления баланса перемещений и преобразований для случая нагружения СН крутящими моментами с разных сторон получаем дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2 M_z}{dz^2} - \frac{K^2}{d^2} M_z + M_1 \frac{K_1^2}{d^2} = 0, \quad (2)$$

где $M_1 = M(z=0)$ для схемы нагружения (рис.2, а); K, K_1 - параметры зависящие от геометрических размеров и свойств материала втулки и вала, а также свойств ЭКС.

В частном случае, при $K = K(z), K_1 = K_1(z) \rightarrow const$, решение уравнения (2) имеет вид

$$M_z = M_1 \left(C_1 e^{K \cdot z/d} + C_2 e^{-K \cdot z/d} + \frac{K_1^2}{K^2} \right). \quad (5)$$

Произвольные постоянные C_1 и C_2 определяют из граничных условий при $z=0, M_z = M_1$ и при $z=l, M_z = 0$. Тогда

$$C_1 = M_1 \left(\frac{1 + (e^{Kl/d} - 1) K_1^2 / K^2}{1 - e^{2Kl/d}} \right), \quad (6)$$

$$C_2 = M_1 \left(\frac{1 + (e^{-Kl/d} - 1)K_1^2 / K^2}{1 - e^{-2Kl/d}} \right). \quad (7)$$

С учетом (1), (5) и соотношения $\delta_z = K_\tau \tau_z$ находим распределение касательных контактных напряжений и перемещений по длине соединения:

$$\tau_z = \frac{2K}{\pi d^3} (C_2 e^{-Kz/d} - C_1 e^{Kz/d}), \quad (8)$$

$$\delta_z = \frac{2KK_\tau}{\pi d^3} (C_2 e^{-Kz/d} - C_1 e^{Kz/d}). \quad (9)$$

В случае приложения крутящего момента с одной стороны от поверхности сопряжения (рис. 2, б) все выкладки носят аналогичный характер, а дифференциальное уравнение второго порядка имеет вид

$$\frac{d^2 M_z}{dz^2} - \frac{K^2}{d^2} M_z = 0. \quad (10)$$

Решение уравнения (10) и соответствующие ему выражения для касательных напряжений τ_z и перемещения δ_z в стыке, определяются как:

$$M_z = \frac{M_2}{e^{2Kl/d} - 1} [e^{K(l+z)/d} - e^{K(l-z)/d}]; \quad (11)$$

$$\tau_z = \frac{2KM_2}{\pi d^3 (e^{2Kl/d} - 1)} [e^{K(l+z)/d} + e^{K(l-z)/d}]; \quad (12)$$

$$\delta_z = \frac{2KK_\tau M_2}{\pi d^3 (e^{2Kl/d} - 1)} \times [e^{K(l+z)/d} + e^{K(l-z)/d}]. \quad (13)$$

$M_2 = M(z=0)$ для схемы нагружения (рис.2, б).

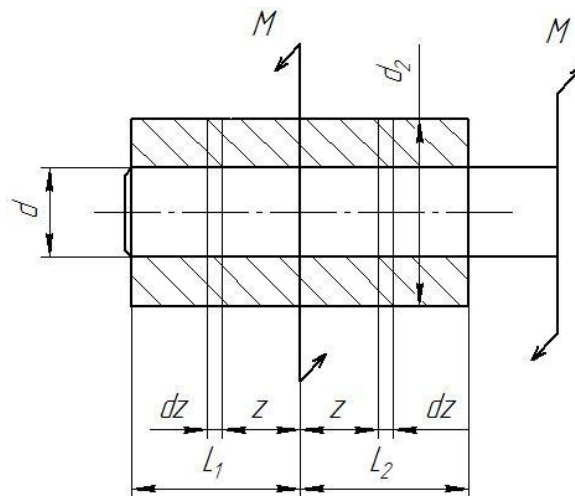


Рис. 3 Схема нагружения СН крутящими моментами в средней части соединения

Нагружение СН крутящими моментами в средней части соединения (рис.3) может быть представлено суперпозицией схем его нагружения по рисунку 2.

При этом, согласно условиям баланса сил и непрерывности деформаций ЭКС, для сечения $z = 0$, справедливы соотношения:

$$M_z = M_{1z} + M_{2z}; \delta_{1z} = \delta_{2z}, \quad (14)$$

Список литературы

- [1] Крагельский И.В. Трение и износ. -М: Машиностроение, 1978. - 480с.
- [2] Иосилевич Г.Б. Детали машин: Учебник для студентов машиностроит. Спец. вузов. –М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
- [3] Левина З. М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. М. Машиностроение, 1971. - 264 с.
- [4] Гречищев Е.С., А. А. Ильяшенко Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление - М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.
- [5] Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. Для стр. спец. вузов. - М: Высш. шк, 1990 – 400 с.

Заярный Сергей Леонидович — канд. техн. наук, доцент кафедры "Детали машин и подъемно-транспортное оборудование" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: texnakon@yandex.ru.

Фомин Александр Андреевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: hyperkrat@yandex.ru.

С.Л. Заярный, И.О. Лесовский

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА ПРИ КВАЗИСТОХАСТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Повышение долговечности лифтовых канатопроводящих шкивов (КВШ) является важной научно-практической проблемой [1]. Контактное взаимодействие КВШ и каната может быть представлено посредством циклически возобновляемого дискретного контакта [2]. Вследствие износа и повреждаемости элементов КВШ, тяговая способность привода снижается, что и определяет его работоспособность и долговечности в целом.

Решение любой технической проблемы, и в частности проблема повышения долговечности КВШ, невозможно без получения достоверной, экспериментально подтвержденной, модели порождающего ее явления.

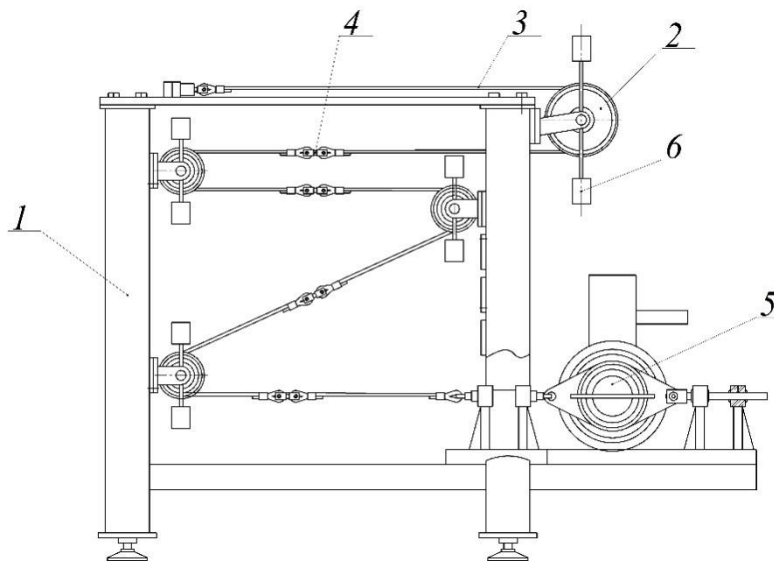


Рис. 1 Схема стана для исследования контактных взаимодействий в системе «канат-ручей КВШ»

1 – рама, 2 – блок (имитация ручья КВШ), 3 – канат, 4 – тензометрическая мессдоза определения осевого усилия, 5 – тяговый орган, 6 – грузы

Для экспериментального исследования особенностей контактных взаимодействий в системе «канат-ручей КВШ» разработан специальный стан (рис.1), функциональная схема которого приведена на рис.2. Конструкция стана позволяет имитировать контактные взаимодействия различной физической природы [2], влияющие на повреждаемость элементов системы «канат-ручей КВШ».

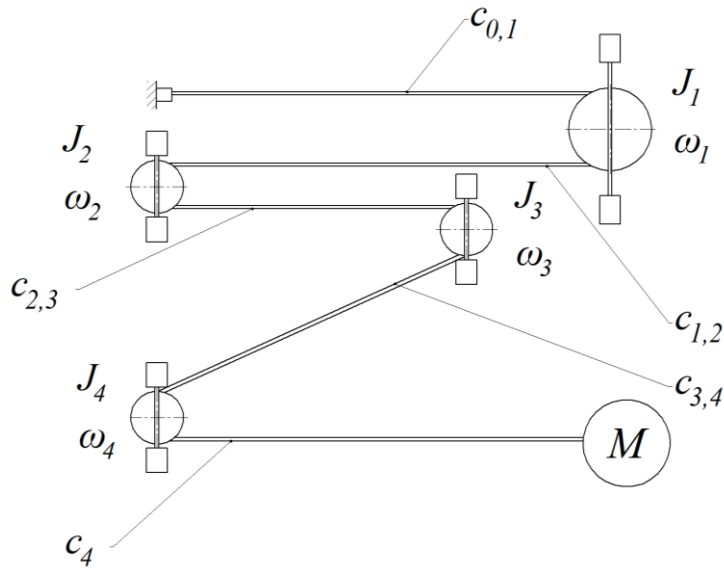


Рис. 2 Функциональная схема установки

Величина момента, передаваемого контактным взаимодействием в системе «канат-ручей КВШ» определяется из соотношения

$$\Delta M = M_{\max} - M_{\min} = J\varepsilon$$

Изменение этого момента осуществляется путем изменения момента инерции J за счет радиального перемещения грузов.

Функциональная схема стенда в линейной форме представлена на рис.3.

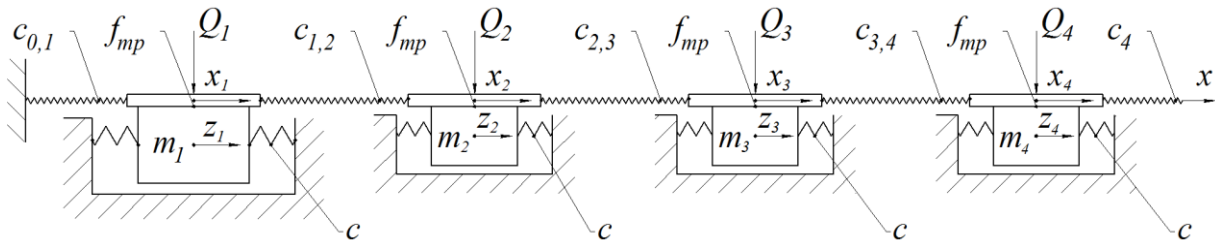


Рис. 3 Структурная схема стенда (линейная форма)

Движение дискретного элемента массой m_i (рис.3) определяется уравнением:

$$m_i \ddot{z}_i + 2cz_i = \tilde{F}_i \text{sign}(\dot{z}_i - \dot{x}_i),$$

где $\tilde{F}_i = Q_i f_{mp}$ – сила квазистохастического возбуждения, определяемая случайным характером усилия прижатия каната Q_i и коэффициента трения f_{mp} .

Наличие в уравнении фактора \tilde{F}_i провоцирует квазистохастический характер колебательных процессов в силовой цепи предлагаемой конструкции стенда. Силовая цепь стенда (рис.3) представляет собой динамическую систему с кинематическим возбуждением $e \sin \omega t$, состоящую из n элементов массой

$m_i (i \in 1 \dots n)$, упругих связей $c_{ij} (i, j \in 1 \dots n)$ и фрикционных взаимодействий \tilde{F}_i (диссипативным влиянием которых пренебрегаем). В общем случае, математическая модель такой силовой цепи определяется системой уравнений

$$(m_1 \ddot{x}_1 - 2cz_1) \delta(\dot{z}_1 - \dot{x}_1) + c_{0,1} x_1 - c_{1,2} (x_1 - x_2) = \tilde{F}_1 \text{sign}(\dot{z}_1 - \dot{x}_1)$$

.....

$$(m_i \ddot{x}_i - 2cz_i) \delta(\dot{z}_i - \dot{x}_i) - c_{i-1,i} (x_{i-1} - x_i) - c_{i,i+1} (x_i - x_{i+1}) = \tilde{F}_i \text{sign}(\dot{z}_i - \dot{x}_i) \quad (1)$$

.....

$$(m_n \ddot{x}_n - 2cz_n) \delta(\dot{z}_n - \dot{x}_n) - c_{n-1,n} (x_{n-1} - x_n) - c_n (x_n - e \sin \omega t) = \tilde{F}_n \text{sign}(\dot{z}_i - \dot{x}_i),$$

где δ -дельта функция.

Система нелинейных уравнений (1) является аналитическим представлением имитационной модели процесса контактного взаимодействия сопрягаемых поверхностей системы «канат-ручей КВШ», рассматриваемого в виде циклически возобновляемого дискретного контакта. При этом

величина $s_i = \int_{t_1}^{t_2} |\dot{z}_i - \dot{x}_i| dt$ определяет путь трения сопрягаемых поверхностей в i -м элементе за промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$.

Решение системы уравнений (1) может быть получено численными методами, [4] в частности с использованием метода конечных разностей.

На основании результатов экспериментальных исследований на стенде рис.1 и исследования имитационной модели (1) предполагается уточнить методики расчета несущей способности и повреждаемости КВШ, представляя их как функции циклически возобновляемых дискретных квазистохастических контактных взаимодействий.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Анцев В.Ю., Витчук П.В. Обеспечение долговечности лифтовых канатопроводящих шкивов. *Тяжелое машиностроение*, №11–12. с. 37–51.

[2] Крагельский И.В. *Трение и износ*. Москва, Машиностроение, 1978, 480 с.

[3] Артоболевский И.И., *Вибрации в технике: Справочник*. В 6 т./Ред. Совет: В41 В.Н. Челомей (пред.). Москва, Машиностроение, 1978, 352 с.

[4] Гуляев В.И. *Прикладные задачи теории нелинейных колебаний механических систем: Учеб. Пособие для вузов*. Москва, Высшая школа, 1989, 383 с.

Заричный Александр Фёдорович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sefanK790@yandex.ru.

Лесовский Игорь Олегович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: igor@lesovsky.ru.

С.Л. Заярный, Д.А. Сысоев

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКВИВАЛЕНТНОГО КОНТАКТНОГО СЛОЯ В СОЕДИНЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВОДА И МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Качество соединений элементов привода и металлической конструкции различного назначения определяется сочетанием их конструктивно-технологических факторов, обеспечивающих эффективное использование соединений при заданных условиях эксплуатации. Одним из способов повышения качества таких соединений является обеспечение их «условной неподвижности» при контактных взаимодействиях под действием переменных нагрузок. При этом, в общем случае, соединение элементов привода или элементов металлической конструкции, с учетом их контактных взаимодействий, можно представить в виде системы, состоящей из этих элементов и расположенного между ними третьего тела [1] (эквивалентного контактного слоя (ЭКС) [2]). При этом в качестве ЭКС рассматривается виртуальное пространство с особыми механическими свойствами, которые формируются с учетом механических свойств элементов, скрепления соединения (шпонка, шлиц, болт, заклепка и т.д.) и свойств, обусловленных контактными взаимодействиями элементов соединения по сопрягаемым поверхностям. Механические свойства ЭКС могут быть представлены в форме модели его деформирования в координатах нагрузка– перемещение (рис.1). При этом степень «условной неподвижности» соединения определяется величиной обратной величине площади ограниченной линией нагрузки (1) и линией разгрузки (2) ЭКС.

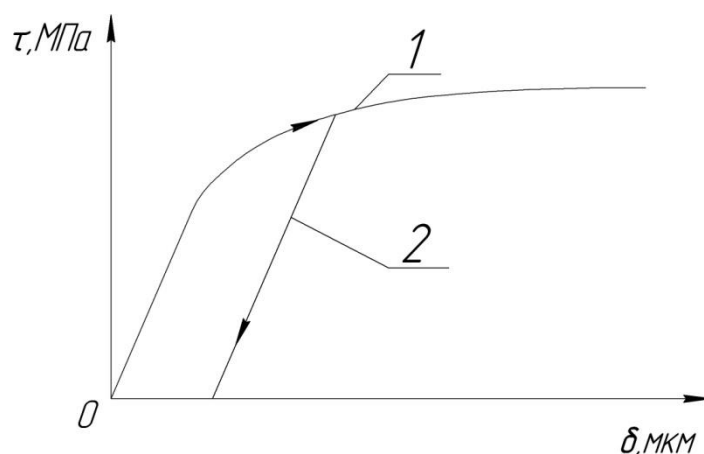


Рис. 1 Модель деформирования ЭКС в координатах нагрузка (τ)- перемещение (δ).

1- линия нагрузки, 2- линия разгрузки.



Рис. 2 Стенд для исследования ЭКС.

1 – адаптивная опора, 2 – плунжерный гидроцилиндр, 3 – исследуемый образец, 4 – подвижная опора, 5 – винт, 6 – траверса, 7 – стойка, 8 –винтовой плунжерный гидронасос, 9 - блок манометра.

Определение механических свойств ЭКС может быть выполнено экспериментальными или расчетными методами [3]. Стенд для экспериментального определения механических свойств ЭКС (рис.2), смонтирован на опорной плите (1) и состоит из нагружающего устройства, адаптивной опоры и гидравлической системы с элементами визуального контроля. Нагружающее устройство стенда выполнено в виде силового плунжерного гидроцилиндра (2), обеспечивающего создание рабочего усилия до 50 кН. Адаптивная опора стенда предназначена для предварительного поджатия исследуемого образца (3) и представляет собой винтовой домкрат, состоящий из подвижной опоры (4), винта (5) и траверсы (6), установленной на стойках (7). Стойки (7) обеспечивают силовое замыкание стенда и выполняют функцию направляющих подвижной опоры. Гидравлическая система стенда обеспечивает создание рабочего гидростатического давления 12 Мпа и состоит из ручного винтового плунжерного гидронасоса (8) и трубопровода. Косвенный контроль рабочего усилия стенда обеспечивается контролем рабочего давления в его гидросистеме посредством блока манометра (9). Конструкции и технологии изготовления исследуемых образцов (3) обеспе-

чивают формирование их ЭКС как имитации ЭКС соединений элементов привода и металлической конструкции различного назначения.

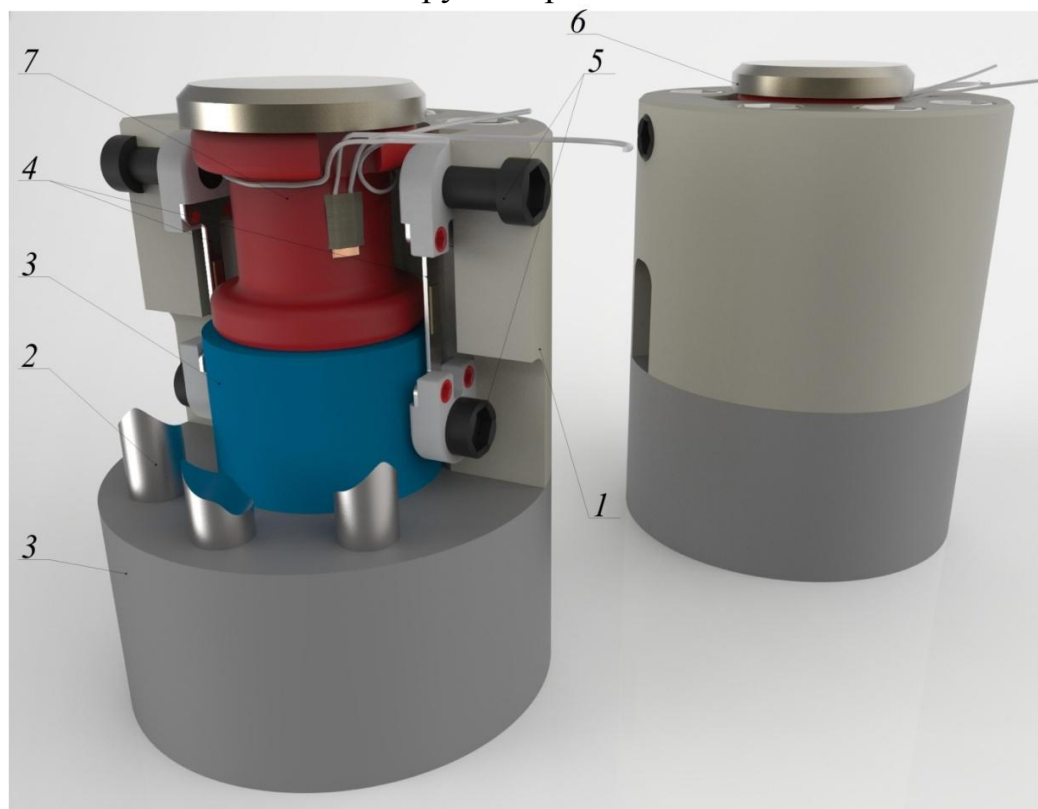


Рис. 3 Контрольно–измерительный комплект.

1 – втулка опорная, 2 – винты, 3 – охватывающая деталь исследуемого образца, 4 – датчики осевого перемещения, 5 – винты, 6 – грибовый упор, 7 – месдоза осевого усилия.

Объективный контроль параметров ЭКС исследуемого образца обеспечивается контрольно-измерительным комплектом (3) представленным на (рис.3). Контрольно-измерительный комплект состоит из месдоз (*messdose*) осевого перемещения и усилия. Месдоза осевого перемещения состоит из опорной втулки (1), закрепленной винтами (2) на торцевой части охватывающей детали (3) исследуемого образца, и пары тензометрических датчиков осевого перемещения (4) [4], закрепленных винтами (5) между верхней частью опорной втулки и торцевой частью вала исследуемого образца. Крепление тензометрических датчиков осевого перемещения к торцевой части вала обеспечивается через пазы в нижнем торце опорной втулки. Усилие на вал исследуемого образца передается через грибовый упор (6) и месдозу (7) осевого усилия стандартного исполнения [5].

Представленная конструкция стенда и контрольно-измерительного комплекта позволяет определять параметры ЭКС соединений элементов привода и металлической конструкции различного назначения. Результаты исследования могут быть использованы при уточнении методик расчета долговечности указанных соединений при различных условиях их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Крагельский И.В. *Трение и износ*. – М.: Машиностроение, 1978. – 480с./.

[2] Иосилевич Г.Б. *Детали машин/Учебник для студентов машиностроит. спец. вузов*. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.

[3] Левина З. М., Решетов Д.Н. *Контактная жесткость машин*. М. Машиностроение, 1971. – 264 с.

[4] Гречищев Е.С., А. А. Ильяшенко *Соединения с натягом: Расчеты, проектирование, изготовление* – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.

[5] Пригорювский Н. И. *Методы и средства определения полей деформаций и напряжений: Справочник*. – М.: Машиностроение, 1983. –248 с., ил.

Заярный Сергей Леонидович— канд. техн. наук, доцент кафедры "Детали машин и подъемно-транспортное оборудование" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: texnakon@yandex.ru.

Сысоев Дмитрий Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dmm-sv@mail.ru.

СЕКЦИЯ 15.

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
И ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Д.В.Зубков, А.С.Гордеев

АДСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ УГЛЕЙ В СОЛЯНОКИСЛЫХ РАСТВОРАХ КАРБОНИЛХЛОРИДА ПАЛЛАДИЯ(I)

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Нанесенные металлические катализаторы изготавливают на основе различных носителей, среди которых особое положение занимают углеродные. Ценность носителей на основе активных углей (АУ) определяется с одной стороны большой удельной поверхностью, разнообразием типов пор, высокой химической и механической устойчивостью, а с другой, простотой нанесения активной массы [1].

Основным методом нанесения активной массы является пропитывание подложки раствором, содержащим металл, с последующим его восстановлением. Обычно, для нанесения палладия используют кислые растворы хлорида палладия, где он присутствует в виде комплексного аниона $[PdCl_4]^{2-}$ или щелочные аммиачные растворы, содержащие катионный комплекс $[Pd(NH_3)_4]^{2+}$.

Перспективным методом нанесения палладия на угольную подложку является пропитывание носителя в солянокислом растворе карбонилхлорида палладия (I) с последующим восстановлением в водно-органических средах или в атмосфере влажного газа. Палладий в растворе присутствует в виде комплексного аниона $[PdCOCl_2]^-$. Присутствие палладия в частично восстановленной форме и наличие связанного монооксида углерода способствует протеканию восстановления металлического палладия на носителе.

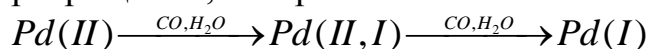
Угли используются в неокисленной и окисленной формах. Известно, что неокисленные угли в солянокислой среде способны адсорбировать больше палладия, чем окисленные [2]. Поэтому в работе использовались неокисленные технические угли марок БАУ и АГ-3. Характеристики пористой структуры использованных активных углей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика пористой структуры активных углей.

Показатель	АУ БАУ	АУ АГ-3
Суммарный объем пор, $см^3 / г$	1,6	0,8
Удельная поверхность микропор, $м^2 / г$	870	950
Удельная поверхность мезопор, $м^2 / г$	130	95

Рабочий раствор карбонилхлорида палладия готовили обработкой монооксидом углерода раствора $PdCl_2$ в смеси ацетона (этанола) с соляной кислотой в соотношении 4:1 [3]. Монооксид углерода пропускали до пере-

хода окраски раствора из красно бурой, характерной для иона $[PdCl_4]^{2-}$, до оливковой, характерной для иона $[PdCOCl_2]^-$. При этом происходил ряд последовательных превращений, которые можно описать схемой:



Концентрация в пересчете на палладий составляла от 2 до 10 мг/мл. Палладий адсорбировали на подготовленный носитель методом отдельных навесок. Величину адсорбции палладия рассчитывали по уменьшению его концентрации до и после контакта раствора с носителем.

Результаты адсорбции палладия в зависимости от концентрации палладия приведены в таблице 2.

Таблица 2. Влияние концентрации палладия на содержание активной фазы.

Концентрация Pd, мг/мл	Содержание активной фазы на АУ БАУ, %	Содержание активной фазы на АУ АГ-3, %
2	3	3,6
4	3,4	4,3
6	3,8	5
8	4	5,2
10	4,1	5,4

Результаты показывают, что активные угли обладают хорошими адсорбирующими свойствами по отношению к карбонилхлориду палладия (I) в солянокислом водно-органическом растворе. По-видимому, наличие полярного органического растворителя (ацетон, этанол) в системе облегчает адсорбцию за счет придания поверхности угля гидрофильных свойств, что облегчает смачивание и улучшает проникновение раствора карбонилхлорида палладия в мезо- и микропоры угля.

1. Стайлз, Э.Б. Носители и нанесенные катализаторы. Теория и практика / Э.Б. Стайлз. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
2. Синтез и исследование нанесенных на синтетические активные угли палладиевых катализаторов гидрирования / Ю.А. Тарасенко, И.П. Герасимюк, В.Ф. Лапко, А.А. Лысенко // Катализ и нефтехимия. – 2001. - №9-10. – С.72-76.
3. Федосеев, И.В. Синтез и свойства карбонилхлоридов палладия (I) / И.В. Федосеев, А.С. Гордеев // Журн. Неорганической химии. – 2007. – т.52. – №5. – С.6–8.

Зубков Дмитрий Вячеславович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: TDZ2011@yandex.ru.

Гордеев Алексей Сергеевич –ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tungsten-ali@mail.ru.

А.К.Горбунов, О.К.Космынина

АНАЛИЗ СИСТЕМ С ПЕРЕСПРОСОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Предлагается метод расчета характеристик систем одностороннего и двустороннего действия с обратной связью, основанный на использовании некоторых результатов теории графов.

Для большинства известных алгоритмов передачи дискретных сообщений по системам с обратной связью (с переспросом) точные значения вероятностных характеристик и скорости передачи удалось определить лишь при условии использования идеального (без шумов и без задержки) обратного канала. Только для нескольких очень простых алгоритмов были получены указанные характеристики при условии независимого поражения комбинаций и сигналов, передаваемых по прямому и, соответственно, обратному каналам. Ниже предлагается метод анализа систем с переспросом при передаче сообщений по каналам с ограниченной памятью, основанный на использовании графов.

Рассмотрим передачу дискретных сообщений по прямому и обратному стационарным дискретным каналам с ограниченной памятью, т.е. $P(Y | Y_{-1}, \dots, Y_{-(k_n+x)}) = P(Y | Y_{-1}, \dots, Y_{-k_n})$ и $P(y | y_{-1}, \dots, y_{-(k_0+x)}) = P(y | y_{-1}, \dots, y_{-k_0})$ для всех $x > 0$. При этом $Y \in \{Y\}_{1,M}$ и $y \in \{y\}_{1,m}$, где $\{Y\}_{1,M}$ и $\{y\}_{1,m}$ множества (мощности M и m) событий, имеющих место при приеме комбинаций длины n и сигналов обратной связи, передаваемых соответственно по прямому и обратному каналу. В качестве вероятностных характеристик системы выберем вероятности приема сообщения ровно один раз без ошибок и с необнаруженными ошибками ($P\{\mu = 1, F\}$) и ($P\{\mu = 1, F\}$) вероятности получения ($P\{\mu = 0\}$) и получения сообщения получателем более чем один раз ($P\{\mu > 1\}$). Предлагаемый метод анализа заключается в следующем.

1. Для заданного алгоритма строятся графы приема-передачи сообщения, описывающие процесс передачи сообщения по системе при различных начальных условиях его передачи $s_v \in S, v = \overline{1, N}$, и заданных характеристик каналов связи. При этом количество таких графов определяется числом N различных начальных условий s_v , при которых осуществляется первая передача заданного сообщения по системе. Очевидно, что $N = C m^{k_0} * M^{k_n}$, где C - некоторая константа.

2. По построенным графам, с учетом операций их преобразования, описанных в [1], находятся условные вероятности $p(S_v | S_u), S_v$ и $S_u \in S$, и строится матрица $P = \|p(S_v | S_u)\|_{u=\overline{1, N}, v=\overline{1, N}}$, по которой определяются финальные вероятности $P(S_v), v = \overline{1, N}$.

3. По построенным графам находятся условные вероятности

$$P\{\mu = 1, G | s_v\}, P\{\mu = 1, F | s_v\}, P\{\mu = 0 | s_v\} \text{ и } P\{\mu > 1 | s_v\}$$

для всех $s_v \in S$, а затем находятся вероятностные характеристики по формуле

$$P\{\bullet\} = \sum_{s_v \in S} P(s_v) P\{\bullet | s_v\}$$

4. По графам находятся условные производящие функции $P_{s_v}(t)$ для вероятностей окончания передачи сообщения после l его передач по прямому каналу и определяется среднее время передачи сообщения по системе по формуле $\bar{n} = (n + \Delta n) \sum_{s_v \in S} P(s_v) \left[\frac{d}{dt} P_{s_v}(t) \right]_{t=1}$, где Δn - время между концом передачи предыдущий и началом передачи последующих комбинаций, передаваемых по прямому каналу.

Предложенный метод расчета применим почти ко всем известным системам с переспросом с неограниченной задержкой сообщения при передаче. Из описания метода следует, что наиболее сложной частью анализа является построение графов приема-передачи сообщения при заданном алгоритме.

Однако, для преодоления этой трудности может быть использована ЭВМ. Для случая независимого поражения комбинаций линейного (n, k) кода, передаваемых по прямому и обратному каналам, с использованием вышеописанного метода удалось проанализировать большое число алгоритмов, из числа известных, используемых в системах двустороннего действия с переспросом. Пример расчета системы с переспросом и ожиданием, с использованием предложенного метода, приведен в работе [1].

ЛИТЕРАТУРА

[1] W.H. Huggins. Signal-flow graphs and random signals. Proc. Of the IRE, vol. 95, num. 1, January 2012

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Космынина Ольга Константиновна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: olgaborisova2011.borisova@yandex.ru.

А.К. Горбунов, А.А. Кузнецов

ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ ДЛЯ ДИСКРЕТНЫХ КАНАЛОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Верхние границы вероятности ошибки для блочной передачи дискретных сообщений по симметричному дискретному каналу без памяти с двоичным входом при наличии полной обратной связи обобщаются на случай K -ичного симметричного канала без памяти и произвольного дискретного канала без памяти с двоичным входом.

1. K -ичным симметричным каналом называется канал связи с переходной матрицей

$$p_{ij} = \begin{cases} q, & \text{если } i = j \\ p, & \text{если } i \neq j \end{cases}, \text{ где } i, j = \overline{1, K}, p < q, q + (K - 1)p = 1.$$

Блочная передача с обратной связью для случая двоичного симметричного канала без памяти ($K = 2$) изучалась. Здесь исследуется случай $K \geq 3$. Обозначим через $R > 0$ скорость передачи, а через C - пропускную способность.

Теорема 1. Для вероятности ошибки $P_{ош}$ при блочной передаче длины τ дискретных сообщений с полной обратной связью по K -ичному симметричному каналу без памяти справедлива следующая асимптотическая ($\tau \rightarrow \infty$) верхняя оценка $P_{ош} \leq \exp\{-\tau F(R)\}(1 + \delta(1))$, (1), где при всех $R, 0 < R < C$, величина $F(R)$ есть положительная выпуклая вниз функция скорости передачи R .

Для всех $R, R_{c2} \leq R < C$, где число R_{c2} критическая скорость передачи без обратной связи, функция $F(R)$ совпадает с экспонентой границы сферической упаковки, т.е. оптимальна, а при $R \rightarrow 0$

$$F(0) \square \lim_{R \rightarrow 0} F(R) = -\ln \left\{ \frac{2K-1}{K} q \left(\frac{p}{q} \right)^{\frac{K-1}{2K-1}} + \frac{(K-1)^2}{K} p \right\}. \quad (2)$$

Можно показать, что $F(0) > E(0) = -\frac{K-1}{K} \ln\{2\sqrt{pq} + (K-2)p\}$, (3), где $E(0)$, определяемое (3) представляет собой экспоненту оптимальной вероятности ошибки при передаче без обратной связи с нулевой скоростью.

Из формулы (2) вытекает следующая теорема.

Теорема 2. Для K -ичного симметричного канала в случае нулевой скорости передачи отношение f максимально возможного числа исправляемых ошибок к длине блока τ при наличии полной обратной связи ограничено снизу величиной $f \geq \frac{K-1}{2K-1} (1 - \delta(1))$, $\tau \rightarrow \infty$.

Отметим, что в работе для $K = 2$ показано, что при $\tau \rightarrow \infty$ величина $f = \text{на}f = \frac{1}{3}(1 + \delta(1))$, а при отсутствии обратной связи для f согласно формуле (3) имеем асимптотическое равенство $f = \frac{K-1}{2K-1}(1 - \delta(1))$.

2. Для формулировки теоремы о верхней границе вероятности ошибки в случае произвольного дискретного канала без памяти с двоичным входом и переходной матрицей $P_{kn}, k = \overline{1, 2}, n = \overline{1, N}$, введем некоторые обозначения. Пусть R – скорость передачи, C – пропускная способность, а число R_{c2} – критическая скорость при отсутствии обратной связи. Определим функцию $\mu(\lambda) = \max\{\mu_1(\lambda); \mu_2(\lambda)\}$, где $\mu_1(\lambda) = \sum_{n=1}^N p_{1n}^{1-\lambda} p_{2n}^{\lambda}, \mu_2(\lambda) = \sum_{n=1}^N p_{2n}^{1-\lambda} p_{1n}^{\lambda}$, а $0 \leq \lambda \leq 1$. Обозначим через q_1 и $q_2, q_1 + q_2 = 1$ значения параметра λ минимизирующие соответственно функции $\mu_2(\lambda)$ и $\mu_1(\lambda)$, т.е. $\mu_1(q_2) = \mu_2(q_1) = \min_{0 \leq \lambda \leq 1} \mu_1(\lambda) = \min_{0 \leq \lambda \leq 1} \mu_2(\lambda) = \sum_{n=1}^N p_{1n}^{q_1} p_{2n}^{q_2}$.

Положим $q = \max\{q_1; q_2\}$.

Теорема 3. Для вероятности ошибки при блоковой передаче со скоростью R при наличии обратной связи по дискретному каналу без памяти с двоичным входом справедлива верхняя оценка вида (1) из теоремы 1, где $F(R)$ – выпуклая вниз функция скорости передачи $R, 0 < R < C$. Для всех $R, R_{c2}^f \leq R < C$ где число $R_{c2}^f < R_{c2}$, функция $F(R)$ совпадает с экспонентой границы сферической упаковки, а при $R \rightarrow 0 F(0) \square \lim_{R \rightarrow 0} F(R) = -\ln \mu\left(\frac{1}{1+q}\right)$.

Заметим, что всегда $F(0) > E(0) = -\frac{1}{2} \ln \sum_{n=1}^N \sqrt{p_{1n} p_{2n}}$, (4), где $E(0)$ из (4) есть экспонента оптимальной вероятности ошибки при блоковой передаче с нулевой скоростью без обратной связи.

Укажем для примера, что в случае взаимно обратимых каналов с двоичным входом, введенных в работе, $\log q = q_1 = q_2 = \frac{1}{2}$, а, следовательно, $F(0) = -\ln \mu \frac{2}{3}$.

В случае же полностью асимметричного двоичного канала без памяти, т.е. канала с переходной матрицей: $p_{11} = 1, p_{12} = 0, p_{21} = p, p_{22} = 1 - p$, где $0 < p < 1$, имеем число $q = 1$, а $F(0) = -\frac{1}{2} \ln p$.

Литература

[1] E.R. Berlekamp. Block coding with noiseless feedback. MIT Ph.D. Thesis, 2009.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Кузнецова Анна Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 521annakuznetsova@gmail.com.

УДК 621.315.592.

И.Н. Радченко, И.С. Кутовой

ВОЗМОЖНОСТИ ЛЕГИРОВАНИЯ МУЛЬТИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Использование альтернативных источников энергии обуславливает возросший интерес к производству солнечных фотоэлементов на основе полупроводникового кремния. В последнее время все больше внимания уделяется острой проблеме недостатка запасов кремния с требуемыми параметрами и их получения с минимальными затратами.

В статье приведены результаты анализа и обсуждение литературных данных, посвященных последним тенденциям в области использования компенсированного кремниевого сырья при росте слитков мультикристаллического кремния (mc-Si). Рассмотрены положительные и отрицательные аспекты влияния эффекта компенсации на фундаментальные электрофизические свойства кремния и фотопреобразователей на его основе. Описан метод тройного легирования слитков мультикремния бором, фосфором и галлием. Такое сочетание легирующих примесей дает возможность исключить инверсию типа проводимости и добиться требуемого профиля удельного электрического сопротивления по длине слитка мультикремния.

В настоящее время основным сырьем является так называемый SG кремний (SolarGrade). Данный вид сырья получают с использованием металлургических методов очистки кремния. В SG-кремнии содержатся фосфор и бор, т.е. примеси различных типов проводимости, что позволяет считать данное сырье в той или иной степени компенсированным. Изучение влияния компенсации на свойства mc-Si слитков и фотопреобразователей на их основе является одной из тенденций в решении проблемы нехватки достаточных количеств качественного кремниевого сырья.

Компенсация примеси безусловно может дать некоторые преимущества. Например, она может служить низкзатратным методом повышения удельного сопротивления исходного сырья одного типа проводимости за счет дополнительного легирования его примесью другого типа. При этом уменьшается равновесная концентрация основных носителей заряда и, частично, количество центров рекомбинации, что и приводит к росту удельного электрического сопротивления (УЭС). С другой стороны, влияние эффектов компенсации на другие фундаментальные электрофизические свойства либо неясно, либо еще недостаточно изучено. В частности, предметом постоянных обсуждений [1-3] является влияние компенсации на время жизни неосновных носителей заряда в образцах, что напрямую влияет на эксплуатационные характеристики фотопреобразователей.

При использовании сырья низкого качества [4, 5] были получены результаты, которые показали положительный эффект компенсации леги-

рующей примеси с точки зрения ее влияния на диффузионную длину неосновных носителей заряда. Это позволяет сделать вывод о возможности использования сырья р-типа с высоким содержанием бора при условии его компенсации требуемым количеством примеси п-типа (например, фосфора). Дополнительным «бонусом» при этом является возможность существенного уменьшения расходов на предварительную очистку кремниевого сырья, а также допустимость использования в процессах роста отходов производства, ранее считавшихся «невозвратными» из-за высокого содержания в них основной легирующей примеси.

Значения основных электрофизических параметров кремниевого сырья (величины УЭС и времени жизни неосновных носителей заряда) напрямую зависят от величины разностной концентрации N_{net} носителей р- и п-типов проводимости (акцепторов, N_A , и доноров, N_D), $N_{net} = N_A - N_D$. Поэтому для достижения более высокого уровня компенсации и, соответственно, для более существенного повышения величины УЭС, необходимо большее содержание фосфора в исходной загрузке. Это, в свою очередь, приводит к увеличению вероятности инверсии типа проводимости по длине растущего слитка и к уменьшению выхода годного продукта с требуемыми параметрами.

На рисунке 1 приведены результаты расчета распределения легирующих примесей (бора и фосфора) по длине слитка кремния при инверсии р-типа проводимости в п-тип. Распределения примесей рассчитаны по формуле:

$$C_{ms} = K_{эфф} \cdot C_0 \cdot (1 - g)^{K_{эфф}^{-1}}.$$

Здесь $C_{ms} [at / cm^{-3}]$ – концентрация примеси в кристалле; $K_{эфф}$ – эффективный коэффициент распределения примеси в расплаве кремния; $C_0 [at / cm^{-3}]$ – начальная концентрация примеси в расплаве кремния. Начальные концентрации бора и фосфора равны, соответственно, $1,3 \cdot 10^{17} at / cm^3$ и $2,43 \cdot 10^{17} at / cm^3$. При данных концентрациях бора и фосфора в исходной загрузке инверсия типа проводимости (вертикальная линия на рис.1) наступает при величине доли закристаллизовавшегося слитка $g \approx 0,36$. Поскольку верхняя часть слитка мультикристаллического кремния выводится из процесса, желательно, чтобы инверсии типа проводимости не происходило, по крайней мере, до величины $g \approx 0,90$. Данное требование существенно снижает допустимый уровень легирования исходного сырья бором для его последующей компенсации фосфором. Расчеты показали, что достижение величины УЭС $0,5 Ом \cdot см$ возможно при снижении начальных концентраций B и P до значений $0,45 ppm$ и $1 ppm$, т.е. существенно ниже представленных на графике.

Вариант решения данной проблемы подробно описан в [6] и заключается в дополнительном легировании загрузки состава «кремний-бор-фосфор» галлием. Введение в загрузку галлия позволяет добиться практически плоского профиля N_{net} вплоть до $g \approx 0,85 - 0,90$. Инверсии типа проводимости в данном случае не происходит.

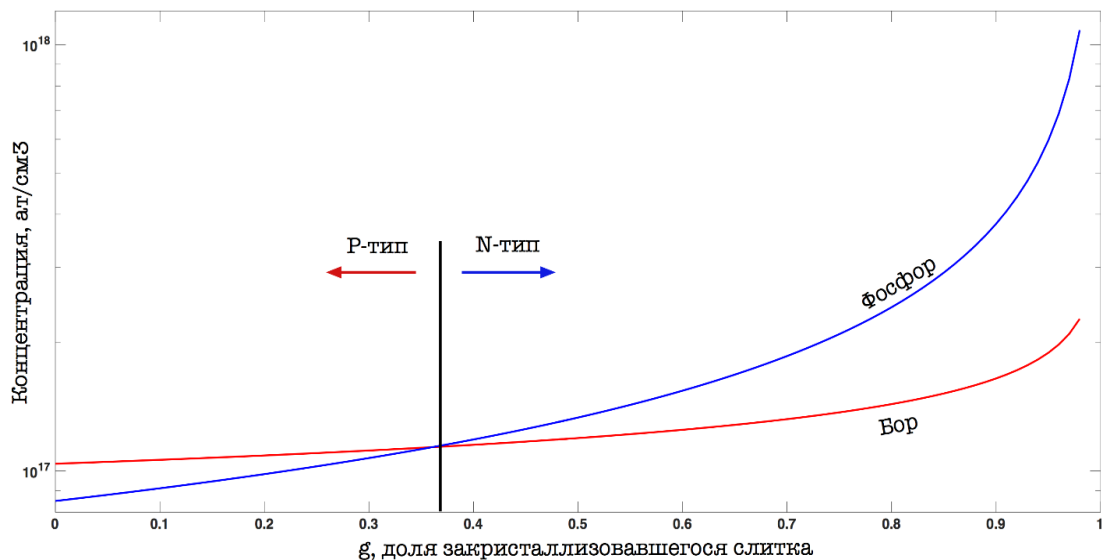


Рис.1. Кривые распределения бора, фосфора по длине *mc-Si* слитка.

Компенсация кремния при его тройном легировании бором, фосфором и галлием является одним из перспективных направлений, позволяющих во многом решить проблему нехватки качественного сырья для роста слитков мультикристаллического кремния, а также регулировать параметры материала по длине слитка с большей точностью.

Список литературы:

- [1] Kraiem J., Drevet B., Cocco F., Enjalbert N., Dubois S., Camel D., Grosset-Bourbange D., Proc. 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Hawaii, USA, 2010.
- [2] SDubois S., Enjalbert N., Appl. Phys. Lett. 93, 032114 (2008).
- [3] Macdonald D., Rougieux F., Cuevas A., Lim B., Schmidt J., Di Sabatino M. and Geerligs L. J., J. Appl. Phys. 105, 093704 (2009).
- [4] Enebakk E., Søliland A. K., Håkedal J. T., in: 3rd International Workshop on Crystalline Silicon Solar Cells, SINTEF/NTNU, Trondheim, Norway, 2009.
- [5] Kraiem J., Einhaus R. and Lauvray H., World patent WO/2009/130409.
- [6] Forster M., Fourmond E., Einhaus R., Lauvray H., Kraiem J., Lemiti M. Doping Engineering to increase yield during crystallization of B and P compensated Silicon. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: http://www.researchgate.net/publication/267559211_Doping_engineering_to_increase_the_material_yield_during_crystallization_of_B_and_P_compensated_silicon.

Радченко Ирина Николаевна — канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

Кутовой Игорь Станиславович — ведущий инженер ООО "Гелио-Ресурс". E-mail: rex-kis@yandex.ru.

А.К. Горбунов, Р.Р. Байманов

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМ СВЯЗИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается задача оптимального распределения резервного состава технических средств или ресурса, выделенного на работоспособности систем связи. Предложенная стратегия предполагает организацию экономических вариантов функционирования системы, поиск которых основан на использовании метода эволюции параметров.

Пусть γ – поток экономических средств, поступающих в систему в течении требуемого времени её активного существования T . Если V – стоимость технических средств, то величину улегко подсчитать в общее количество технических средств n , выделенных на поддержания процесса функционирования системы, $n = \gamma T / V$. Если t_n - время функционирования системы ($t_n < T$), то поток γ увеличивается, т.е. $\tilde{C} = \gamma T / t_n$, $\tilde{C} = \tilde{C}_i$, \tilde{C}_i -поток средств, выделенный на i -ый участок, $\tilde{C}_i = \alpha_i C_i$, где C_i - стоимость восстановления i -го участка, α_i -интенсивность его разрушения.

Цель управления заключается в обеспечении максимального значения интегрального показателя качества $Q = (\hat{C})$ при соблюдении накладываемых ограничений на качество функционирования отдельных элементов (допустимая нагрузка, время передачи и т.д.).

Для описание процедуры поиска оптимального решения вводится обобщенная функция эффективности \tilde{Q} системы, полученная при условии, что поток средств, выделенных на интервале T равен заданному

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \int Q(\tilde{C}(t)) | \int_0^T \tilde{C}(t) dt = \gamma T = C_t$$

Тогда для обеспечения $\max Q$ необходимо поддерживать $Q(\tilde{C}(t))$ постоянными, т.е

$$\bar{Q} = \frac{1}{T} \int_0^{t_n} Q(\hat{C}(t)) dt = \frac{Q(\tilde{C})t_n}{T}$$

Так как $\tilde{C}t_n = \gamma * T$, то

$$\max \bar{Q} = \max \frac{Q(\tilde{C}) * \gamma * T}{\tilde{C} * T} = \gamma * \max \frac{Q(\tilde{C})}{\tilde{C}} = \gamma \frac{Q(\tilde{C}^*)}{\tilde{C}^*} \quad (1)$$

Равенство (1) является необходимым условием оптимального распределения ресурса восстановления при $\gamma \leq \tilde{C}^*$ и определяет процедуру ограничения нагрузки, реализация которой эквивалентна организации работы системы с перерывами (рис. 1). Очевидно, что если $\gamma > \tilde{C}^*$, то выбирается вариант, обеспечивающий $\max Q(\gamma)$.

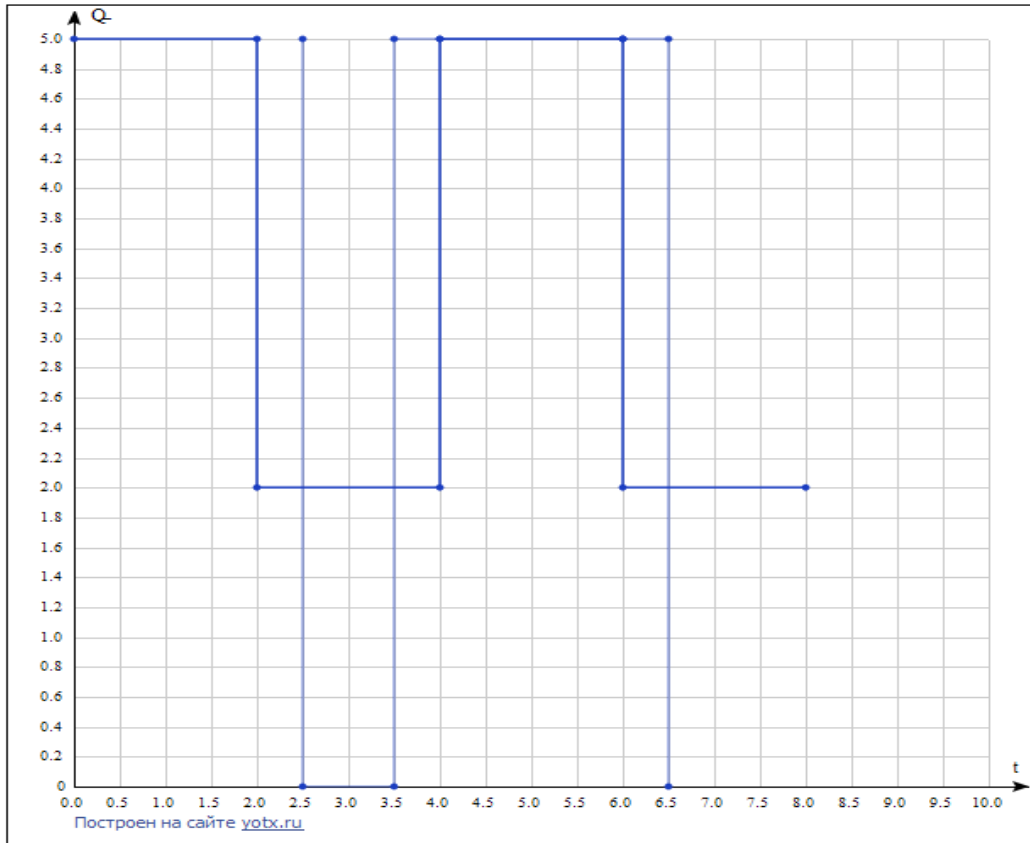


Рис.1.

Соотношение (1) может быть строго доказано на основе дифференциального представления. Пусть $\Delta t \rightarrow 0$ – некоторый интервал времени работы системы, вклад которого \bar{Q} равен

$$\Delta \bar{Q} = \frac{1}{T} Q(\tilde{c}(t)) * \Delta t | \Delta t * \tilde{c}(t) = \Delta \gamma = const$$

Откуда получаем условие аналогичное (1)

$$\max \left[\Delta \bar{Q} = \frac{1}{T} Q(\tilde{c}) * \frac{\Delta \gamma}{\tilde{c}(T)} \right] = \left[\max \frac{Q(\tilde{c})}{T} \right] * \frac{\Delta \gamma}{T}$$

Легко доказать, что $\max \frac{Q(\tilde{c})}{\tilde{c}}$ при этом обеспечивается в точке

$$Q'_\delta = \frac{Q(\tilde{c})}{\tilde{c}} \quad (2)$$

Докажем существования экономичного варианта:

-в окрестности $\tilde{c}=0$

$$Q'_\delta | \Delta \tilde{c} = Q'(0) + Q''(\tilde{c}) * \Delta \tilde{c} = \Delta \tilde{c} * Q''(\tilde{c}) > 0$$

$$\frac{Q(\tilde{c})}{\tilde{c}} | \Delta \tilde{c} = \frac{Q(0) + Q'(0)\Delta \tilde{c} + \frac{1}{2}Q''(\tilde{c})\Delta \tilde{c}^2}{\Delta \tilde{c}} = \frac{1}{2}Q''(\tilde{c}) * \Delta \tilde{c} > 0$$

Следовательно, вблизи $\tilde{c} = 0$

$$Q'(\tilde{c}) > \frac{Q(\tilde{c})}{\tilde{c}}$$

-так как $Q(\tilde{C}) \rightarrow Q_0 = const$, где Q_0 - требуемый уровень качества работы системы, то для больших \tilde{C}

$$\int_0^{\infty} \frac{Q(\tilde{C})}{\tilde{C}} d\tilde{C} > \int_0^{+\infty} Q'(\tilde{C}) d\tilde{C}$$

то есть справедливо обратное неравенство;

-поскольку $Q(\tilde{C})/Q'\tilde{C}$ и $Q'(\tilde{C})$ являются дифференцируемыми функ-

циями, должна существовать точка пересечения, удовлетворяющая равенству (2).

Необходимо отметить, что при наличии избыточности в системе экономичные варианты допускают возможность более широкой их физической интерпретации (например, перевод части абонентов в менее приоритетные по обслуживанию группы).

Поскольку интегральный показатель качества работы системы определяется принятыми алгоритмами работы, величиной входящего потока, интенсивностью и характером разрушений и не зависит от γ , значения $Q(\tilde{C})$ может меняться.

Если в системе налагаются дополнительные ограничения на минимальный уровень качества обслуживания $\bar{Q}_{\min} = \bar{Q}(t) - \bar{Q}_{\min}$, $\Delta\tilde{C} = \tilde{C} - \tilde{C}_{\min}$, $\bar{Q}(\tilde{C}_{\min}) = \bar{Q}_{\min}$ (рис. 1), что эквивалентно перемещению начала координат \tilde{C} и \bar{Q} в точку $(\tilde{C}_{\min}, \bar{Q}_{\min})$.

Литература:

[1]. Попов А.С. Анализ и классификация методов адаптации к информации перегрузкам., М., «Наука».1993.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Байманов Роман Русланович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sufirt2@yandex.ru.

А.К. Горбунов, Е.А. Коваленко

ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛА НА ФОНЕ СЛУЧАЙНОЙ СОВОКУПНОСТИ ЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрена задача выделения последовательности случайных сигналов с наблюдаемым параметром в виде марковского процесса на фоне пуассоновского потока ложных сигналов. Предложен квазиоптимальный метод решения этой задачи, подобный методу последовательного декодирования древовидных кодов, и произведена оценка его эффективности.

Пусть $\lambda(t)$ – однородный марковский процесс с переходной плотностью вероятности $P_{\tau}(\lambda/\lambda')$ ($\lambda, \lambda' \in \Omega$) и пусть имеется измерительное устройство, позволяющее получать информацию об этом процессе. Будем предполагать, что наблюдения производятся в дискретные моменты времени с интервалом τ и результаты каждого наблюдения представляются в виде совокупности случайного числа сигналов со случайными параметрами. Если $\lambda \in \Omega$ – текущее значение наблюдаемого процесса $\lambda(t)$, то при однократном наблюдении на выходе измерительного устройства с вероятностью $D(\lambda)$ может появиться «полезный» сигнал, наблюдаемый параметр которого $y \in S$ имеет плотность распределения $f(y/\lambda)$; с вероятностью $1 - D(\lambda)$ полезный сигнал может не появиться (произойдет «пропуск»). Помимо полезного сигнала и независимо от него при каждом наблюдении могут появляться ложные сигналы. Совокупности ложных сигналов, получаемые в различные моменты наблюдения, будем считать независимыми реализациями пуассоновского потока с интенсивностью $\gamma(y)$.

При сделанных предположениях условная плотность вероятности получения при единичном наблюдении ℓ сигналов с параметрами $y_1, \dots, y_i (y_i \in S)$ имеет вид:

$$P(y_1, \dots, y_i; S/\lambda) = \exp\left(-\int_S \gamma(y) dy \prod_{i=1}^{\ell} \gamma(y_i)\right) \left[1 - D(\lambda) + \sum_{i=1}^{\ell} \frac{D(\lambda)f(y_i/\lambda)}{\gamma(y_i)}\right] \quad (1)$$

(здесь λ – текущее значение ненаблюдаемого процесса $\lambda(t)$).

Задача состоит в том, чтобы по результатам последовательных наблюдений формировать оптимальные оценки параметров ненаблюдаемого процесса $\lambda(t)$. Оптимальные оценки формируются исходя из конкретного вида функции потерь и апостериорной плотности распределения значения параметра λ . Апостериорная плотность распределения параметра λ после n наблюдений формируется по следующему рекуррентному правилу:

$$\tilde{W}_n(\lambda) = \frac{W_n(\lambda)\Lambda(\lambda; y_1^{(n)}, \dots, y_{l_n}^{(n)})}{1 - \pi_n + \int_{\Omega} W_n(\lambda')\Lambda(\lambda'; y_1^{(n)}, \dots, y_{l_n}^{(n)})d\lambda'}, n = 1, 2, \dots, \quad (2)$$

где

$$\pi_n = \int_{\Omega} W_n(\lambda) d\lambda$$

$$W_n(\lambda) = \int_{\Omega} \tilde{W}_{n-1}(\lambda') P_{\tau}(\lambda / \lambda') d\lambda', n = 2, 3, \dots,$$

$W_1(\lambda)$ - априорная плотность.

$$\Lambda(\lambda; y_1, \dots, y_l) = 1 - D(\lambda) + \sum_{i=1}^l \frac{D(\lambda) f(y_i / \lambda)}{\gamma(y_i)} \quad (3).$$

Априорная плотность $W_1(\lambda)$, как правило, гладкая функция.

Если плотность распределения ошибок единичных измерении $f(y / \lambda)$ и переходная плотность $P_{\tau}(\lambda / \lambda')$ имеют гауссовский вид, то апостериорная плотность $\tilde{W}_n(\lambda)$ будет иметь вид суперпозиции большого числа гауссовских пиков, причем, число этих пиков будет быстро возрастать с ростом n . Каждый из таких пиков соответствует одной из всевозможных последовательностей из сигналов и пропусков, соответствующих различным моментам наблюдения. Множество всех таких последовательностей имеет древовидную структуру. Любая оптимальная процедура оценивания требует обработки всех ветвей этого "дерева" и поэтому оказывается чрезмерно сложной. В связи с этим возникает необходимость синтеза простых в реализации квазиоптимальных процедур.

Выясняется, что эта задача имеет сходство с задачей декодирования древовидных кодов и к ней можно применить идеи последовательного декодирования. Такой подход впервые был применен в сходной задаче (1).

Вместо плотности $\tilde{W}_n(\lambda)$ будем рассматривать функцию

$$\tilde{\epsilon}_n(\lambda) = \tilde{W}_n(\lambda) / (1 - \int_{\Omega} \tilde{W}_n(\lambda) d\lambda)$$

Логарифмы объемов («веса») пиков этой функции преобразуются независимо друг от друга по правилу, имеющему при $n \gg 1$ асимптотически вид:

$$\rho_n = \rho_{n-1} + \begin{cases} \ln \frac{D(\lambda_n^{\circ}) f(y_i^{(n)} / \lambda_n^{\circ})}{\gamma(y_i^{(n)})} (a) \\ \ln(1 - D(\lambda_n^{\circ})) (b) \end{cases}$$

(a) при включении в обрабатываемую ветвь на n -м шаге сигнала $y_i^{(n)}$;

(b) при пропуске сигнала.

Здесь λ_n° - координата максимума обрабатываемого пика функции

$$\ln(\lambda) = W_n(\lambda) / (1 - \int_{\Omega} W_n(\lambda) d\lambda)$$

При этом оказывается возможным использовать аналоги алгоритмов последовательного декодирования, описанных в (1). Анализ эффективности таких алгоритмов показывает, что при $\gamma(y) \geq \gamma_0$, где

$$\ln \gamma_0 = \frac{1-D(\lambda)}{D(\lambda)} \ln(1-D(\lambda)) + \int_s f(y/\lambda) \ln D(\lambda) f(y/\lambda) dy, \quad (4)$$

надежное выделение сигналов с переменными параметрами на фоне потока ложных сигналов становится невозможным, а при

$$\gamma(y) \geq \gamma_1 = \frac{(1-\sqrt{1-D(\lambda)})^2}{D(\lambda) \left(\int_s \sqrt{f(y/\lambda)} dy \right)^2}, \quad (5)$$

происходит скачкообразное возрастание среднего быстродействия вычислительных средств, требуемых для их реализации.

Список литературы

1. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь. Москва. Издательство «Мир» 1990

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Коваленко Елизавета Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: www.yoursmile@yandex.ru.

А.К. Горбунов, В.С. Волкова

ЖИВУЧЕСТЬ СЕТЕЙ СВЯЗИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В докладе прослеживается зависимость живучести сети связи от уровня функциональной и структурной избыточности этой сети. Предложена новая вероятностная методика анализа живучести сети связи, способной функционировать с пониженным качеством в условиях неблагоприятных внешних воздействий (НВ). Учтена существенная информационная неопределённость на вид НВ. Показано, что избыточность в структурно-сложных системах по-разному сказывается на надежности и на живучести этих систем.

Исследования живучести структурно-сложных систем находятся в такой стадии, когда не сложилось ни технического определения живучести, ни окончательного понимания того, какова область применения этого понятия. В то же время практика эксплуатации систем связи и других сложных технических систем в условиях экстремальных (например, сейсмических или ураганных) неблагоприятных воздействий (НВ) остро нуждается в технических и организационных рекомендациях, направленных на обеспечение функционирования этих систем (хотя бы и с пониженным качеством) в условиях НВ. Ясно, что обеспечение такого функционирования возможно лишь при наличии разных видов избыточности, когда оставшееся работоспособным оборудование берет на себя полностью или частично функции поражённого при НВ оборудования.

Но если, скажем, в надежности хорошо известны преимущества и недостатки структурного или временного резервирования, то механизм влияния избыточности на живучесть совершенно не изучен. Настоящий доклад делает попытку отразить этот механизм в рамках одной модели живучести сети связи (СС). Под живучестью (функциональной живучестью) СС в докладе понимается способность такой системы функционировать с требуемым количеством в условиях НВ, не предусмотренных регламентом её нормальной эксплуатации. Это определение перекликается с определением, данным в [1]. Живучесть системы может быть обеспечена за счёт различного рода избыточности (нагрузочной, структурной, функциональной, алгоритмической, временной) при наличии специальных средств обеспечения живучести (в частности, средств реконфигурации). Та составляющая живучести, которая обеспечивается за счёт структурной избыточности, далее будет называться структурной живучестью.

Рассмотрим двухполюсную СС, состоящую из узлов коммутации, соединённых линиями связи. Для неё Y – множество всевозможных состоя-

ний СС, характеризующихся отказом нуля, одного или нескольких элементов СС (таких состояния всего 2^N штук, где N – число элементов СС), и каждому состоянию $y_i \in Y$, $i=1, 2^N$ сопоставим значения скалярного показателя качества функционирования $D(y_i)$. Таким показателем может являться число кратчайших путей успешного функционирования между полюсами [1], производительность сети и др. Обозначим y_i – состояние, когда НВ не произошло, и все элементы работоспособны. Проанализируем живучесть СС при следующих допущениях, сформированных в рамках так называемой точечной модели живучести [1].

1. Допущения к НВ: а) точечная область действия; б) импульсная продолжительность действия; в) независимая стратегия НВ; г) НВ состоит из nr - кратных деформаций, за одну деформацию воздействию подвергается ровно r элементов; д) существует полная информационная неопределенность на вид НВ. Согласно принципа "недостаточного основания" Бернулли-Лапласа и принципа "максимальной неопределенности" Гиббса-Джейнса [1], следует принять закон распределения деформаций по элементам равновероятным. Такое распределение отражает индифферентность природы, отсутствие у нее предпочтения одних НВ другим.

2. Допущения к системе: а) под элементом СС понимается та ее часть, геометрические размеры которой совпадают с масштабами элементарного воздействия в составе одной r -кратной деформации. Всего в системе N элементов; б) состояние y_i системы считается работоспособным, если $D(y_i) > D_B$, где $D_B = (1 - \varepsilon)D(y_i)$ – верхняя недопустимая граница показателя качества функционирования, $0 < \varepsilon \leq 1$ (этот критерий работоспособности будем далее называть ε -критерием); в) средства обеспечения живучести в системе непоражаемы и идеально надежны; г) вторичные последствия в системе отсутствуют; д) стойкость элементов системы и НВ нулевая, т.е. подверженный НВ элемент однозначно поражается.

Живучесть оценим по показателям, сходным с тем же из [1]:

1) закон выживаемости системы по ε -критерию – условная вероятность того, что при возникновении события A_{nr} НВ в nr -кратных деформаций система останется работоспособной:

$$R_N(n, r, \varepsilon) = P\{D(y_i) > D_B \mid A_{nr} \Rightarrow y_i\} \quad (1)$$

2) среднее число НВ, приводящих к отказу системы:

$$\bar{\omega}_N(r, \varepsilon) = \sum_{n=0}^{\infty} R_N(n, r, \varepsilon) \quad (2)$$

Решение аналогичной задачи анализа структурной живучести СС было предложено в [3]. Обобщим его на случай анализа функциональной живучести. Разобьем все множество состояний системы Y на классы G_u с равным числом пораженных элементов u . В каждом классе подсчитаем число

$F(u, \varepsilon)$ работоспособных и $\Phi(u, \varepsilon)$ неработоспособных по ε - критерию состояний. Всего в классе $G_u \binom{N}{u}$ состояний, таких классов всего $(N + 1)$, и

$$F(u, \varepsilon) + \Phi(u, \varepsilon) = \binom{N}{u}, u = \overline{0, N} \quad (3)$$

Неблагоприятное воздействие в n r -кратных деформации дает $a_{Nnr} = \binom{N}{u}^n$ всевозможных вариантов возникновения состояний из Y . Из этого числа $a_F(N, n, r, \varepsilon)$ вариантов переводят систему в работоспособное состояние, а $a_\Phi(N, n, r, \varepsilon)$ – в неработоспособное. Поскольку закон поражения равновероятный, то существует единственное разбиение числа a_{Nnr} по классам G_u , которое строится на основе взаимно обратных комбинаторных соотношений [3]:

$$a_{Nnr} = \binom{N}{r}^n = \sum_{u=0}^N \binom{N}{u} \sum_{v=0}^u (-1)^{u+v} \binom{u}{v} \binom{v}{r}^n \quad (4)$$

Данное разбиение влечет разбиение:

$$a_F(N, n, r, \varepsilon) = \sum_{u=0}^N F(u, \varepsilon) \sum_{v=0}^u (-1)^{u+v} \binom{u}{v} \binom{v}{r}^n \quad (5)$$

Из соотношения (4) и (5) получим закон выживаемости (1):

$$R_N(n, r, \varepsilon) = a_F(N, n, r, \varepsilon) / a_{Nnr} = \binom{N}{r}^{-n} \sum_{u=0}^N F(u, \varepsilon) \sum_{v=0}^u (-1)^{u+v} \binom{u}{v} \binom{v}{r}^n \quad (6)$$

При подстановке (6) в (2) имеем:

$$\bar{\omega}(r, \varepsilon) = \binom{N}{r} \sum_{u=0}^N F(u, \varepsilon) \sum_{v=0}^u (-1)^{u+v} \binom{u}{v} / \left\{ \binom{N}{r} - \binom{v}{r} \right\} \quad (7)$$

Соотношения (6) и (7) отражают связь между живучестью и избыточностью, характеризующейся числами $F(u, \varepsilon)$, которые подсчитываются на основе полного перебора состояний с определением показателя качества функционирования в этих состояниях и сравнением его с D_B .

Чтобы использовать соотношения (6) и (7) для анализа структурной живучести системы, необходимо показателем качества функционирования $D(y_i), y_i \in Y$ выбрать число кратчайших путей успешного функционирования между полюсами и положить $\varepsilon = 1, D_B = 0$.

Избыточность по-разному сказывается на надежности и на живучести систем, поскольку различна причина отказов: в случае надежности она внутренняя, а в случае живучести – внешняя. Это различие всецело определяет механизм формирования отказов элементов. В надежности отказ вызревает постепенно и является логическим следствием энтропийных процессов в материале элемента. В живучести: а) НВ имеет импульсный,

внезапный характер: б) оно происходит либо вне зависимости от состояния системы (природные силы), либо привязано к вкладу подвергаемого НВ элемента системы в качество ее функционирования (активная среда, противодействующая целям функционирования системы); в) факт НВ на элемент не влечет с неизбежностью факт поражения (отказа) элемента, поскольку элемент может обладать стойкостью, т.е. не поражаться целиком, а частично деградировать по качеству при НВ. В особенности это справедливо тогда, когда элемент сам является системой элементов низшего уровня иерархии; г) НВ существенно более информационно неопределено, нежели момент внутреннего отказа.

Указанные различия с необходимостью должны быть усвоены методически в живучестном проектировании. Тогда становится понятным совпадение живучести параллельных и последовательно-параллельных СС (при несовпадении их надежности), показанное в [1].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петров Д.А. *Методы и модели оценки живучести сложных систем*. М.: Наука, 1992

Волкова Валерия Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: theflame63@gmail.com.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К.Горбунов, К.Д. Кашицын

ИЗБЫТОЧНОСТЬ МНОЖЕСТВА ПРОВЕРОК

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается задача определения состояния избыточности объекта по результатам проверок, множество которых частично упорядочено. Приведены верхняя и нижняя оценки числа проверок для min/max стратегии. Обсуждается точность полученных оценок.

Пусть для определения состояния объекта используется множество X из N зависимых проверок. В частности, если объектом является техническое устройство, то зависимость результатов проверок можно трактовать, как частичный порядок на X , полагая, что x предшествует x' , если $\alpha(x) \in \alpha(x')$ где $\alpha(x), \alpha(x')$ – множества отказов, обнаруживаемых проверками $x, x' \in X$ [I]. В случае контроля уровня знаний X является множеством используемых при контроле вопросов, ответы на которые классифицируются как верные или неверные. При этом частичный порядок на множестве X является следствием логической связи вопросов и может быть определен следующим образом. Вопрос x предшествует вопросу x' если неверный ответ на x предопределяет неверный ответ на x' [I].

Будем считать, что множество зависимых проверок представлено орграфом $G=(X,\Gamma)$ типа диаграммы Хассе [II]. Определим множество $S(G)$ состояний объекта, как множества двоичных функций s , полагая, что $s \in S(G)$, если s удовлетворяет условию:

$$\begin{aligned} s(x) \leq s(x') \text{ для всех } x \in \hat{\Gamma} x' \\ s(x) \in \{0,1\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\hat{\Gamma} x' = X \setminus x'$ – множество вершин графа G , достижимых из x' . Для определения будем считать, что $s(x)=1$, если проверка x успешна, иначе $s(x)=0$. Легко заметить, что $S(G)$ совпадает с множеством всех двоичных функций на X , если G есть множество несвязанных вершин, и необходимо провести N проверок, чтобы по их результатам определить состояние объекта. В общем случае $|S(G)| \leq 2^n$, т.к. условие (I) позволяет доопределить значение s по результату проверки x' , полагая, что $s(x)=0$ для вершин G , следующих за x' , в случае $s(x')=0$ или $s(x)=1$ для вершин, предшествующих x' , в случае $s(x')=1$. В обоих случаях исключаются неинформативные проверки, соответствующие доопределенным вершинам G .

Для определения информационной избыточности множества зависимых проверок, заданных графом G , сформулируем задачу минимизации максимального числа проверок, необходимых для определения состояния объекта по их результатам

$$LG = \min_{R \in R} \{ L_R(G) \}, \quad (2)$$

где R – бинарный граф-дерево, в котором проверки отображения вершина-ми, а исходы – дугами, $L_R(G)$ – максимальный путь в графе R .

Заметим, что эту задачу можно интерпретировать в рамках теории востросников [1], рассматривая множество состояний $S(G)$ как множество событий, а множество проверок как множество разбиений. При этом проверка $x \in X$ разбивает $S(G)$ на два класса $S^0(G)$, $S^1(G)$. Состояния $s \in S^0(G)$ если $s(x)=0$ и $s \in S^1(G)$, если $s(x)=1$. Остальные значения функции s определяются условием (I) на подграфах G_x^0, G_x^1 , полученных в результате преобразования графа G

$$\begin{aligned} G_x^0 &= (X \setminus \hat{\Gamma}_x, \Gamma_x^0), \\ G_x^1 &= (X \setminus \hat{\Gamma}_x^{-1}x, \Gamma_x^1), \end{aligned} \quad (1)$$

где $\hat{\Gamma}_x^{-1} = \{x' : x \in \hat{\Gamma}_{x'}\}$

В случае линейного графа G сформированная задача может быть интерпретирована как задача поиска в упорядоченной области [4]. Задача (2) может быть решена, например, методом динамического программирования или методом ветвей и границ. Однако недостатком этих методов является значительная вычислительная сложность, в частности для метода динамического программирования она превышает оценку $O(N^8)$ [4], полученную при построении оптимальных деревьев поиска на упорядоченном множестве, а для метода ветвей и границ нетривиальные оценки сложности вообще отсутствуют.

В докладе для случая, когда G – дерево, доказывается, что для величины L_G справедливы неравенства:

$$\max (\Gamma \log_2 |S(G)|, |X'|) \leq L_G \leq |X'| + \sum_{q \in Q} [\log_2 l_q],$$

где X' – множество концевых X^V и предконцевых вершин G (предконцевой вершиной называется вершина $x \in X$, если Γ_x состоит только из концевых вершин), Q – множество линейных участков в G (линейным участком q в графе G называется его линейный подграф, все транзитивные вершины которого инцидентны в графе G двум ребрам),

L_q – число дуг в q .

Отметим, что верхняя оценка является конструктивной и гарантируется при использовании следующего алгоритма, определяющего последовательность выполнения проверок, множество которых описывается графом.

1. Последовательно осуществляем все проверки, соответствующие вершинам множества X^t графа G , $X^t = \{x \in X : \hat{\Gamma}_x \in Q \cup X^V\}$

2. Удаляем множество вершин $\tilde{X} = \cup \hat{\Gamma}_x^{-1} \cup \cup \hat{\Gamma}_x$ и инцидентные им дуги. В результате получаем граф G_1

3. Осуществляем проверки, соответствующие изолированным вершинам и линейным компонентам связности графа G_1 . В результате преобразования графа G_1 , аналогично (5), получаем граф G_2 . Заменяя G на G_2 , переходим к п.1.

Из (4) следует, что для деревьев G без линейных участков, полученные оценки дают точное значение L_G . Кроме того, нетрудно доказать, что класс деревьев, для которых нижняя граница точна, включают себя деревья с линейными участками, удовлетворяющие следующего условию: для любого поддерева $G_x = (\hat{\Gamma}_x, \Gamma)$, где x – корень линейного участка, справедливо неравенство:

$$K_x \geq \sum_{q \in Q_x} [\log_2 l_q],$$

где K_x – число концевых вершин в G_x ; Q_x – множество линейных участков в G_x .

Другими словами, для дерева, содержащего линейные участки, нижняя граница все-таки точна, если дерево достаточно сильно ветвится.

Литература.

[1] Baumert L.D. et al. A combinatorial packing problem. pp.97-108, In Computers in Algebra and Number Theory. SIAM-AMS Proceedings, vol. IV, American Mathematical Society, Providence, 2011

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФМГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Кашицын Кирилл Дмитриевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kirillkashitsyn@gmail.com.

А.К. Горбунов, Е.А. Коваленко

ИЗМЕРЕНИЕ СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ГОМОДИННОГО ПРИЕМА

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрено измерение когерентного сигнала, названное гомодинным приемом. Найдено, что гомодинный прием позволяет асимптотически, при больших числах заполнения, достигнуть пропускной способности идеального канала. В отличие от классики максимум пропускной способности достигается при мощности гомодина приблизительно равной мощности сигнала.

Исследование квантовых каналов с электромагнитным излучением показало, что источники когерентного излучения являются наиболее выгодными с точки зрения передачи информации. Однако вопрос о пропускной способности канала с когерентным излучением и оптимальной процедуре приема в нем остается до сих пор не выяснили. Анализ когерентного канала, в котором среднее число фотонов, регистрируемых в каждом квантовом состоянии, мало, показывает, что в этом случае измерение чисел заполнения позволяет получить количество информации, асимптотически совпадающее с пропускной способностью идеального канала. В случае больших средних чисел заполнения, который должен иметь аналогию в классике, сравнение результатов с известным результатом Шеннона-Таллера показывает, что измерение чисел заполнения или напряженности поля приводит к потере половины информации по сравнению с измерением в классике полного набора переменных поля. Рассмотрим, нельзя ли восполнить потерю половины информации с помощью косвенного измерения. Будем считать состояния осцилляторов поля, создаваемого передатчиком, статистически независимыми друг от друга, тогда для нахождения пропускной способности достаточно определить максимальное количество информации на одну степень свободы.

Постановка задачи.

Прием сигнала, по аналогии с классикой названный гомодинным приемом, должен осуществляться над системой, возникающей в результате взаимодействия сигнального и опорного излучений с одинаковой несущей. Источники сигнального и опорного излучений создают когерентные состояния электромагнитного поля, характеризующиеся комплексными параметрами α_s, α_g , где $\bar{n}_s = |\alpha_s|^2$, $\bar{n}_g = |\alpha_g|^2$ - средние числа заполнения. Матрица плотности когерентного состояния хорошо известна.

Поле смешанного излучения, измеряемое приемником, представим в виде нового набора осцилляторов, динамические переменные которых связаны с динамическими переменными исходных осцилляторов линейным

ортогональным преобразованием. Несложно показать, что излучение, поступающее на приемник, также находится в когерентном состоянии, характеризующемся новыми комплексными параметрами α_1 и α_2 . Естественно, что $|\alpha_1|^2 + |\alpha_2|^2 = |\alpha_s|^2 + |\alpha_g|^2$ - суммарное среднее число фотонов, не зависит от выбора набора осцилляторов, по которым разлагается поле.

Приемник измеряет числа заполнения когерентных сигналов на выходе. Условная вероятность регистрации определенного числа фотонов при заданных состояниях сигнала и гомодина представляет собой, как известно, пуассоновское распределение. Приемник, измеряющий числа заполнения, взаимодействует с излучением статистически, причем эффективность регистрации одного фотона $r < 1$. Так как пуассоновское распределение называется «устойчивым» к ослаблению, то распределение регистрируемых квантов также является распределением Пуассона со средними:

$$\begin{aligned} \bar{n}_1 &= r |\alpha_1|^2 = r \left\{ |\alpha_s|^2 \sin^2 \theta + |\alpha_g|^2 \cos^2 \theta + 2 |\alpha_s| |\alpha_g| \sin \theta \cos \theta \cos(\ell_s - \ell_g) \right\}, \\ \bar{n}_2 &= r |\alpha_2|^2 = r \left\{ |\alpha_s|^2 \cos^2 \theta + |\alpha_g|^2 \sin^2 \theta + 2 |\alpha_s| |\alpha_g| \sin \theta \cos \theta \cos(\ell_s - \ell_g) \right\}, \end{aligned}$$

где $\alpha_{1,2} = |\alpha_{1,2}| e^{i\ell_{1,2}}$, θ -параметр канала.

Не ограничивая общности, можно положить $\ell_g = 0$.

Нахождение асимптотики пропускной способности канала и обоснование результатов.

Количество информации в числах регистрируемых фотонов n_1 и n_2 о переданном сигнале α_s может быть определено в следующем виде:

$$I = \sum_{n_2=0}^{\infty} \sum_{n_1=0}^{\infty} \int_{-1}^1 \int_0^{\infty} Q(A, \Gamma) P(n_1, n_2 / A, \Gamma) \ln \frac{P(n_1, n_2 / A, \Gamma)}{P(n_1, n_2)} dA d\Gamma, \quad (1)$$

где $A = r |\alpha_s|^2$, $\Gamma = \cos \ell$, $P(n_1, n_2 / A, \Gamma) = P(n_1 / A, \Gamma) P(n_2 / A, \Gamma) = \frac{\bar{n}_1^{n_1} e^{-\bar{n}_1}}{n_1!} \frac{\bar{n}_2^{n_2} e^{-\bar{n}_2}}{n_2!}$,

$P(n_1, n_2) = \int_{-1}^1 \int_0^{\infty} Q(A, \Gamma) P(n_1, n_2 / A, \Gamma) dA d\Gamma$, $Q(A, \Gamma)$ - нормированное распределение входного сигнала.

Отыскание пропускной способности сводится теперь к максимизации (1) по входному распределению, при учете ограничения средней энергии сигнального излучения:

$$\int_{-1}^1 \int_0^{\infty} A Q(A, \Gamma) dA d\Gamma = a, \quad (2)$$

и дополнительном ограничении $a \gg 1$.

Строгая вариационная задача не решается, и приходится отыскивать достаточно близкие верхнюю и нижнюю оценки пропускной способности. Удастся показать, что пропускная способность имеет максимум при мощности гомодина, приблизительно равной мощности сигнального излучения $/N_{gom} = 0,842 N_{sign} /$ и получить асимптотически совпадающие оценки для следующих случаев:

$$N_{gom} = O\left(\frac{1}{2}(\ln a + 1) - \frac{1}{2}(\ln 2\pi - c^*) + O\left(\frac{\ln a}{a}\right)\right) \leq I \leq \frac{1}{2}(\ln a + 1) + O\left(\frac{1}{\sqrt{a}}\right), \quad (3)$$

$$N_{gom} = N_{opt} \ln a - 2,403 + O\left(\frac{\ln a}{a}\right) \leq I \leq \ln a - 2,403 + O\left(\sqrt{\frac{\ln a}{a}}\right), \quad (4)$$

$$N_{gom} \rightarrow \infty \frac{1}{2} \ln a + 2 + O\left(\frac{\ln a}{a}\right) \leq I \leq \frac{1}{2} \ln a + \ln \ln a + (1 - \ln 8\pi) + O\left(\sqrt{\frac{\ln a}{a}}\right), \quad (5)$$

Из сопоставления (3) - (5) видно, что при достаточно большой мощности сигнала пропускная способность когерентного канала при гомодинном приеме возрастает с увеличением мощности гомодинаот $\frac{1}{2} \ln a$ до максимального значения $(\ln a - 2,4)$, достигаемого при оптимальной мощности гомодина, составляющей 0,842 от мощности сигнала, при дальнейшем росте мощности гомодина пропускная способность уменьшается и при $N_{gom} \gg N_{sign}$ падает вновь до $\frac{1}{2} \ln a$. Полученный результат не имеет аналогии в классике, так как при классическом расчете гомодинирования или гетеродинирования, учитывающем только тепловые шумы, оптимум достигается при мощности опорного сигнала, стремящейся к бесконечности. Учет квантовых шумов приводит к появлению двух конкурирующих факторов: возможности различия фазы и увеличению дробового шума. Поэтому, вопреки предположениям об идентичности с классикой, пропускная способность достигает максимума при конечной мощности гомодина. При мощности гомодина выше оптимальной превалирующее значение имеет возрастание дробового шума, приводящее к уменьшению пропускной способности.

Таким образом, гомодинный прием позволяет извлечь из ансамбля когерентных состояний количество информации близкое к дефекту энтропии и почти вдвое большее, чем прямое измерение чисел заполнения или напряженности поля.

Список литературы

1. J. P. Gordon. "Quantum Effects in Communications Systems" Proc. JRE, v.50, №9, 2012, 1898-2005

Коваленко Елизавета Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: www.yoursmile@yandex.ru.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К. Горбунов, Р.Р. Байманов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается использование различных видов избыточности для решения задачи определения состояния элементов сетей связи (ЭСС) по неполным и противоречивым данным. Предлагается формальный язык описания структур ЭСС, исследуются возможные способы представления неполных и противоречивым данных (НПД), описаны алгоритмы их обработки, дается оценка качества этих алгоритмов.

Сети связи (СС) как объект управления характеризуют высокой сложностью, обусловленной большим территориальным размахом, широкой номенклатурой средств связи, многообразием структурных и функциональных отношений, связывающих ЭСС, динамичностью смены их состояния и другими факторами. Контроль состояния СС и управления их функционированием должно обеспечиваться специальными административными системами АС, включающими распределённые по уровням управления и связанные сетью передачи данных (СПД) ЭВМ, а также ЭСС, автоматизированные рабочие места и средства контроля. Важной задачей при контроле состояния СС является определение состояния ЭСС. Вследствие разреженности точек контроля (количество точек контроля меньше числа ЭСС), наличия нескольких источников и путей поступления информации, отказов и ошибок в техническом и программном обеспечении, задержек данных в СПД, субъективного фактора (сведения могут поступать от операторов) возможно поступление на административный объекты (АО) НПД. Следовательно, необходимы специальные средства обнаружения и обработки данных.

Выявления и корректировка НПД возможны за счёт использования различных видов избыточности, обусловленных как особенностями структуры СС и АС. Структурная и сигнальная избыточность проявляется из-за множественности источников и путей поступления данных в АС, в результате чего данные о состоянии ЭСС дублируются на входах АО, информационная избыточность обусловлена причинно-следственной взаимозависимостью состояний ЭСС.

Для представления структуры СС введём формальный язык для автоматического манипулирования со структурами, описывающими типовые ЭСС, на основе атрибутивной контекстно-свободной плекс грамматики: $G = \langle V_T, V_N, S, P, O, A, R \rangle$. Терминальные символы V_T грамматики отображают первичные ЭСС (оконечные устройства, коммутационное оборудование, каналы передачи и т.д.). Нетерминальные символы V_N ста-

вятся в соответствие производным элементам (формируемым из первичных). Начальные символы $S \subset V_N$ описывают множество производных ЭСС, занимающих верхние уровни иерархии ЭСС (СС, направление связи, системы передачи и т.д.). Правила вывода P соответствуют операциям перехода от одних ЭСС к другим путем подстановки и конкатенации отображающих их символов с использованием элементарных операций. $O = \{ \&, V, \parallel, \oplus \}$ сочетание этих символов, где $\&, V$ обозначают соответственно последовательное и параллельное соединение, \parallel -многоаспектность представления, \oplus - возможность реализации ЭСС посредством одного из нескольких ЭСС. A - множество атрибутов, R - множество отображений, ставящих в соответствие символам $V = V_T \cup V_N$ атрибуты из A . Атрибуты, прописываемые символами, могут отображать состояния (например, норму (Н), аварию (А), предупреждение (П)).

Среди алгоритмов обработки НПД обусловлена применяемым математическим аппаратом, степенью использования знаний о структурно-логических отношениях, связывающих ЭСС, учётом дополнительной информации о СС и др.. В простейшем случае алгоритм может сводиться только к мажоритарной обработке поступающей информации. Более сложные алгоритмы используют знания о структуре СС и АС, а также возможные значения ЭСС. Возможна реализация комбинированных алгоритмов, при выполнении которых сначала осуществляется мажоритарная обработка, а затем - более сложные алгоритмы.

Рассмотрим подходы, использующие методы вывода при нечеткой, неполной и неопределенной информации, а именно, четырех- и восьми-значных логик, и факторов определенности. Используя многозначные логики и теорию конечной аппроксимации Скотта, для описания состояния ЭСС нижних уровней иерархии с двумя возможными градациями (А, Н) введем логику A_4 с истинными значениями $\{T, F, B, N\}$, а для описания состояния ЭСС старших уровней имеющих три возможных градации (Н, А, П), - логику A_8 с множеством истинности значений $\{T, F, P, N, B, D, G, E\}$ (Т-норма, F-авария, P-предупреждение, N-неопределенно, остальные элементы образуют абсурдное множество: В-поступили данные о состоянии Т и F, D – Т и P, G- F и P, E- Т, F и P). Метод факторов определенности $CF[k]$ использует такие характеристики, как мера уверенности $MB[k]$ и мера неуверенности $MD[k]$ и мера неуверенности $MD[k]$ в гипотезе, где

$$CF[k] = MB[k] - MD[k], MB[k] \in [0,1], MD[k] \in [0,1], \quad MB[k] = MD[k], MB[k] > 0 \rightarrow MD[k] = 0, MD[k] > 0 \rightarrow MB[k] = 0.$$

Для ЭСС старших уровней используются факторы определенности, характеризующие гипотезы о каждом из трех возможных состояний. Если для ЭСС нижнего уровня $n_H(n_A)$ отображает количество сообщений о состоянии норма (авария), то $MB[kx]$ может определяться следующим образом:

$$MB[kx] = \begin{cases} \frac{n_H}{n_H + n_A}, n_H + n_A \neq 0 \\ 0, n_H + n_A = 0 \end{cases}$$

С учётом введенных способов сочленения ЭСС для каждого из методов задания состояния разработаны правила синтезирования и наследования атрибутов, использующие информационную избыточность. Эти правила отражают взаимозависимость состояния ЭСС разных уровней иерархии и представляют собой логические и числовые соотношения между атрибутами. Предложенные логические средства позволяют построить семейство алгоритмов различной сложности и достоверности. Существо алгоритмов сводится к выполнению процедур последовательного синтезирования и наследования значений атрибутов и процедур принятия решения о состоянии ЭСС, причём условия принятия решения последовательно ослабляют при очередном вызове процедур принятия решения (например путем уменьшения значения CF^* в продукции, если $CF[kx] \geq CF^*$, то состояние ЭСС x -норма.

Литература:

[1].BhatnagarR.K., KanalL.N. Handling Unertain Information: A Review of Numeric and Non-numeric Methods// Uncertainty in Artificial Intelligence. North – Holland. 2010,p.3-26.

Байманов Роман Русланович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sufirt2@yandex.ru.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук,заведующий кафедрой "Физика"КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К. Горбунов, И.Р.Бережанский, Г.Э.Амеличев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматриваются вопросы повышения живучести информационных систем за счет использования избыточности. Сформулированы две задачи оптимального введения аппаратурной избыточности для одного класса систем на основе интервального показателя.

В связи с широким развитием проблемно-ориентированных информационно-вычислительных систем (например, АСУ службами аэропорта) все большую актуальность приобретает проблема обеспечения их живучести.

Для данного класса систем под живучестью будем понимать свойство системы выполнять требуемые функции с необходимым качеством в течение рассматриваемого интервала времени в заданных экстремальных условиях, которые (в отличие от нормальных условий) характеризуются тем, что в начале интервала система находится в одном из экстремальных состояний.

Живучесть системы будем оценивать с помощью следующего интервального показателя

$$K_G[t_1, t_2] = \sum_{j=1}^m C_j K_G^{(j)}[t_1, t_2]$$

При условии

$$\sum_{j=1}^m C_j = 1$$

где m - число функций (задач), выполняемых системой, C_j - коэффициент важности j -й функции [1,3], $K_G^{(j)}[t_1, t_2]$ - интервальный показатель живучести j -й функции, определяемый выражением

$$K_G^{(j)}[t_1, t_2] = \frac{\varphi_{\text{э}}^{(j)}[t_1, t_2]}{\varphi_{\text{н}}^{(j)}[t_1, t_2]}, \quad j = \overline{1, m}$$

где $\varphi_{\text{э}}^{(j)}[t_1, t_2]$ и $\varphi_{\text{н}}^{(j)}[t_1, t_2]$ - условные математические ожидания числа задач j -го типа, решенных системой в интервале времени $[t_1, t_2]$ в экстремальных и нормальных условиях.

Рассматриваемая многофункциональная система является системой кратковременного и многократного действия. В любой фиксированный

момент времени $t \in [t_1, t_2]$ она может находиться в определенном состоянии, описываемом вектором

$$X(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)\}$$

где n - число элементов системы, $x_i(t) = 1$, если i -й элемент работоспособен в момент времени t , $x_i(t) = 0$ в противном случае.

В каждом состоянии $X(t)$ система может выполнять j -ю задачу с определенной эффективностью $\phi^{(j)}(x(t))$, имеющей смысл производительности.

Автором получен окончательный вид функционалов $\varphi_s^{(j)}[t_1, t_2]$ и $\varphi_n^{(j)}[t_1, t_2]$ для $\phi^{(j)}(x(t))$, представленных в полилинейной форме, в случае независимых восстанавливаемых элементов.

Использование и введение избыточности в информационную систему является важным принципом улучшения качества ее функционирования. Так, живучесть существенно зависит от имеющейся в системе избыточности и может быть повышена оптимальным ее использованием, например, за счет сокращения множества решаемых задач, начиная с менее важных, по мере выхода из строя элементов системы или за счет оптимального выбора способов выполнения функций, возложенных на систему. Другим способом повышения живучести системы является введение в нее дополнительной избыточности (как на уровне элементов, так и на уровне системы). Эта защитная избыточность (аппаратурная, временная или информационная) позволяет в случае попадания системы в экстремальные состояния продолжать корректно функционировать, несмотря на имеющиеся неполадки.

Рассмотрим две схемы введения динамической аппаратурной избыточности на системном уровне для повышения живучести системы, допускающей неисправности элементов, при заданной структуре и жестком закреплении функций за элементами.

1. Отказавшие элементы возобновляют функционирование только после восстановления.

2. На время восстановления отказавшие элементы резервируются за помещением.

Ввиду соображений экономического характера в указанных случаях возникают соответственно следующие задачи оптимального введения избыточности в систему.

1. Определить значение вектора M интенсивностей восстановления элементов системы, минимизирующие затраты на восстановление, при ограничении на интервальный показатель живучести, т.е.

$$\sum_{i=1}^n Q_i(\mu_i) \rightarrow \min,$$

$$K_G([t_1, t_2], M) \geq K_G[t_1, t_2]_{don}, \quad (1)$$

где $M = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}$, $\mu_i \in \{\mu_{ip}\}$, $p = \overline{1, p_i}$, p_i - число возможных значений μ_i , $Q_i(\mu_i)$ - стоимость мероприятий по восстановлению i -го элемента с интенсивностью μ_i , $K_G([t_1, t_2]_{don})$ - допустимое значение интервального показателя живучести.

2. Определить значение вектора R резервирования замещением элементов системы, максимизирующее интервальный показатель живучести системы, при ограничении на затраты по резервированию, т.е.

$$\sum_{j=1}^m C_j K_G^j([t_1, t_2], R) \rightarrow \max,$$

$$\sum_{i=1}^n Q_i(r_i) \leq Q_{don}, \quad (2)$$

где $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, $r_i \in \{0, 1\}$, $r_i = 1$, если i -й элемент резервируется замещением, $r_i = 0$ в противном случае, $Q_i(r_i)$ - стоимость резервирования i -ого элемента, Q_{don} - допустимые затраты резервирование.

Сформулированные задачи решаются методами динамического программирования.

Пусть, например, $1 = \{i\}$, $i = \overline{1, 7}$ - множество элементов системы. Элементы простейшие, независимые. Поток отказов и восстановлений элементов простейшие с интенсивностями $\lambda_i = 1 \cdot 10^{-4} I / час$ и $\mu_i = 1 \cdot 10^{-2} I / час$, $i = \overline{1, 7}$. Система предназначена для выполнения трех функций со следующими коэффициентами важности $C_1 = 0,3$; $C_2 = 0,5$; $C_3 = 0,2$. Для выполнения каждой j -ой функции необходимо взаимодействие элементов системы, образующих следующие подмножества I_j множества I :

$$I_1 = \{1, 2, 5, 5, 7\}, \quad I_2 = \{1, 2, 3\}, \quad I_3 = \{1, 2, 4\}$$

Рассмотрим два случая.

1. Пусть каждый элемент системы может восстанавливаться с большей интенсивностью $\mu_{i2} = 5 \cdot 10^{-2} I / час$, т.е. $\mu_i \in \{\mu_{ip}\}$, $p = \overline{1, 2}$, где $\mu_{i1} = 1 \cdot 10^{-2} I / час$, $\mu_{i2} = 5 \cdot 10^{-2} I / час$, $i = \overline{1, 7}$. Причем разность $\Delta Q_i = Q_i(\mu_{i2}) - Q_i(\mu_{i1})$ стоимостей восстановления с интенсивностями

μ_{i_2} и μ_{i_1} принимает для элементов следующие значения:
 $\Delta Q_1 = 350$ руб., $\Delta Q_2 = 70$ руб., $\Delta Q_3 = 50$ руб., $\Delta Q_4 = 30$ руб.,
 $\Delta Q_5 = 200$ руб., $\Delta Q_6 = 100$ руб., $\Delta Q_7 = 200$ руб. Тогда, если
 $[t_1, t_2] = 3$ час. и $K_G[t_1, t_2]_{дон} = 0,928$, то решение задачи (1) достигается при
 $M = \{5 \cdot 10^{-2}, 5 \cdot 10^{-2}, 5 \cdot 10^{-2}, 5 \cdot 10^{-2}, 1 \cdot 10^{-2}, 1 \cdot 10^{-2}, 1 \cdot 10^{-2}\}$

2. Пусть каждый элемент системы может резервироваться замещением. Причем:

$Q_1(I) = 35000$ руб., $Q_2(I) = 7000$ руб.,
 $Q_3(I) = 5000$ руб., $Q_4(I) = 3000$ руб.,
 $Q_5(I) = 20000$ руб., $Q_6(I) = 10000$ руб., $Q_7(I) = 20000$ руб.

Тогда, если $Q_{дон} = 50000$ руб. и $[t_1, t_2] = 3$ час., то решение задачи (2) достигается при $R = \{1, 1, 1, 1, 0, 0, 0\}$ ($\sum C_j K_G^{(j)}([t_1, t_2], R) = 0,918$).

Список литературы

[1]. International symposium on fault-tolerant computing, [9-th]. Digest of papers. New York, 2007, [p, 391].

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Бережанский Иван Романович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: berezhanskiy.ivan@mail.ru.

Амеличев Глеб Эдуардович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К. Горбунов, А.Д. Алещенко

К ЗАДАЧЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматриваются два подхода к задаче последовательного оценивания – минимаксный и байесовский. Показано, что при выполнении некоторых условий типа слабой зависимости наблюдаемых случайных величин и гладкости их распределения последовательное оценивание в минимаксной постановке асимптотически не дает выигрыша. В то же время выигрыш может быть получен уже для независимых наблюдений при байесовском подходе, а также в минимаксной постановке для «сильно» зависимых наблюдений.

При изучении задачи последовательного оценивания можно рассматривать два подхода. В минимаксной постановке предполагается, что среднее время наблюдения $M_{\theta}\tau$, где τ – момент окончания наблюдений, θ – неизвестное оцениваемое значение параметра, при всех допустимых θ , $\theta \in \Theta$, удовлетворяет соотношению:

$$M_{\theta}\tau \leq n \quad (1)$$

Критерием же, например, среднеквадратичным, качества оценок является величина

$$R_M((\tilde{\theta}, \tau), U, n) = \sup_{\theta \in U} M_{\theta}(\tilde{\theta} - \theta)^2, \quad (2)$$

вычисляемая для различных открытых множеств $U \in \Theta$. Здесь $\tilde{\theta}$ – оценка параметра θ , вычисленная в случайный момент τ . При этом представляет интерес сравнение в смысле величины риска (2) всевозможных пар $(\tilde{\theta}, \tau)$, удовлетворяющих (1), со всеми непоследовательными оценками $\tilde{\theta}_n = \tilde{\theta}_n(x_1, \dots, x_n)$ [1].

Рассмотрим, в частности, последовательность наблюдений x_1, \dots, x_n, \dots , образующих стационарную эргодическую цепь Маркова. Предположим, что для величины

$$I(x, \theta) = \int \frac{(P'_{\theta}(x, y, \theta))^2}{P(x, y, \theta)} dy,$$

аналога информационного количества Фишера для переходной плотности $P(x, y, \theta)$, разность

$$\alpha_n(x, \theta) = M_{x, \theta} I(x_n, \theta) - M_{\theta} I(x_1, \theta)$$

удовлетворяет одному из следующих условий:

$$\limsup_n \sup_{\theta} \sup_x |\alpha_n(x, \theta)| = 0,$$

либо

$$|\alpha_n(x, \theta)| \leq g(x, \theta)/n^{1+\varepsilon}, (\varepsilon > 0),$$

где

$$\sup_{\theta} M_{\theta} g(x_1, \theta) < \infty.$$

Пусть кроме того переходная плотность достаточно гладко зависит от θ . Тогда для любого открытого множества $U \subset \Theta$

$$\lim_n \sup_{\tilde{\theta}_n} \inf_{(\tilde{\theta}, \tau)} n \left\{ \sup_{\theta \in U} M_{\theta}(\tilde{\theta} - \theta)^2 - \sup_{\theta \in U} M_{\theta}(\tilde{\theta}_n - \theta)^2 \right\} \geq 0,$$

где \inf берется по всем $(\tilde{\theta}, \tau)$, удовлетворяющим (1). По-видимому, этот результат может быть обобщен и на любые степенные функции потерь $|\tilde{\theta} - \theta|^{\alpha}$.

В качестве иллюстрации рассмотрим цепь Макарова

$$x_{i+1} = \theta x_i + \xi_{i+1}, i = 1, 2, \dots,$$

модель авторегрессии, где ξ_i - независимые гауссовские случайные величины $(0, \sigma^2), |\theta| < 1$. Тогда если $\tilde{\theta}_n$ - оценка максимального правдоподобия параметра θ ,

$$\tilde{\theta}_n = \sum_1^{n+1} x_i x_{i+1} / \sum_1^n x_i^2,$$

то

$$\lim_n n \left\{ \inf_{(\tilde{\theta}, \tau)} \sup_{\theta \in U} M_{\theta}(\tilde{\theta} - \theta)^2 - \sup_{\theta \in U} M_{\theta}(\tilde{\theta}_n - \theta)^2 \right\} \geq 0.$$

Здесь U - произвольное открытое множество, $U \subset (-1, 1)$.

Другой подход-байесовский-состоит в введении априорной плотности $\pi(\theta)$. При этом предполагается, что

$$\int_{\Theta} \pi(\theta) M_{\theta} \tau d\theta \leq n; \tag{3}$$

и качество оценки для степенных функций потерь $|\tilde{\theta} - \theta|^{\alpha}$ измеряется величиной

$$R_B((\tilde{\theta}, \tau), \alpha, n) = \int_{\Theta} \pi(\theta) M_{\theta} |\tilde{\theta} - \theta|^{\alpha} d\theta, (\alpha > 0),$$

где τ удовлетворяет (3). Ниже мы считаем, что $\Theta \subset R^1$ - конечный или бесконечный интервал.

Оказывается, с байесовской точки зрения асимптотический выигрыш может быть получен даже для независимых наблюдений X_1, \dots, X_n, \dots . Точнее, при весьма общих предположениях типа существования и ограниченности информационного количества $I(\theta)$ справедлива следующая оценка:

$$\liminf_n \inf_{(\tilde{\theta}, \tau)} n^{\alpha/2} R_B((\tilde{\theta}, \tau), \alpha, n) \leq c_\alpha \left\{ \int \frac{\pi(\theta) d\theta}{I(\theta)^{\alpha/2+\alpha}} \right\}^{\frac{2+\alpha}{2}}, \quad (4)$$

где

$$c_\alpha = \frac{2^{\alpha/2} \Gamma((\alpha+1)/2)}{\sqrt{\pi}}$$

С другой стороны, как следует из (1),

$$\liminf_n \inf_{(\tilde{\theta}, \tau)} n^{\alpha/2} R_B((\tilde{\theta}_n, n), \alpha, n) \geq c_\alpha \int \frac{\pi(\theta) d\theta}{I(\theta)^{\alpha/2}} \quad (5)$$

Таким образом, в байесовской постановке последовательное оценивание асимптотически эффективнее непоследовательного за исключением случая, когда $I(\theta) = const$, равенство между правыми частями (4) и (5). Для эффективного построения последовательной оценки, приводящей к выигрышу, может быть метод, аналогичный описанному в минимаксной постановке.

Если цепь Маркова X_1, \dots, X_n, \dots не является эргодической, то в отличие от ситуации, рассмотренной в минимаксной постановке и байесовском подходе, последовательное оценивание параметра может привести к выигрышу и в минимаксной постановке. Простой пример такого рода, связанный с рассмотрением невозвратной Марковской цепи, описаны в минимаксной постановке.

Список литературы

[1].BreimanL.The individual ergodic theorem of information theory.JournalofThe Annals of Mathematical Statistics, 2003, vol. 71(2), pp.808-811.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Алещенко Алина Дмитриевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: aleshencko.lina@yandex.ru.

КОДИРОВАНИЕ В КАНАЛАХ С ЗАШУМЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Исследуется сверточно-блоковый способ кодирования в каналах с решающей обратной связью. Показано, что ошибки в канале обратной связи приводят к вставкам и выпадениям сообщений. Предложен алгоритм, позволяющий исправлять вставки и выпадения сообщений.

Многие способы передачи сообщений с решающей обратной связью (ОС) неустойчивы по отношению к ошибкам в каналах ОС: при искажении сигналов ОС на выходе декодера возникают специфические ошибки синхронизации - вставки или выпадения сообщений. В докладе рассматривается задача построения способов, позволяющих автоматически, без какого-либо маркирования сообщений, обнаруживать и исправлять такие нарушения синхронизации.

В работе [1] исследован при идеальной ОС способ передачи сообщений по каналам с решающей ОС, основанный на совместном использовании принципов сверточного и блочного кодирования. Можно показать, что для этого способа появление ошибок в канале ОС приводит к длинным сериям запросов. В настоящей работе показано, что это свойство нельзя использовать для надежной защиты от последствий ошибок в канале ОС при алгоритме передачи, описанном в [1], и предложена модификация этого алгоритма, позволяющая исправлять вставки и выпадения сообщений.

Дадим необходимые определения и пояснения к известному способу передачи [1].

Прямой канал без памяти с входным алфавитом $\{X\}$ и выходным $\{\tilde{X}\}$ задается матрицей переходных вероятностей $\{p(X|\tilde{X})\}$. Канал ОС без памяти с двоичными входным $\{Y\}$ и выходным $\{\tilde{Y}\}$ алфавитами позволяет передать без задержки один сигнал ОС на каждые n символов в прямом канале и задается матрицей $\{p(Y|\tilde{Y})\}$.

Для передачи используется сверточный код с длиной кодового ограничения ν , скоростью $R = \ln M / n$, задаваемый в виде решетчатой диаграммы - решетки. Из каждого узла решетки исходят M ребер, каждому ребру приписана n -последовательность символов алфавита $\{X\}$ -подблок. Передается полубесконечная последовательность сообщений U_1, U_2, \dots , равновероятно выбираемых из алфавита $\{V\}$, $|V| = M$. Кодер и декодер распо-

лагают накопителями, состоящими из τM -ичных ячеек памяти для хранения сообщений и их оценок.

Кодер вычисляет по правилу $f(U_i | \bar{S}_i)$ очередной подблок $\bar{X}_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})$, используя сообщение U_i и ранее переданные $U_{i-1}, \dots, U_{i-\nu}$. Эти сообщения хранятся в накопителе и образуют состояние кодера $\bar{S}_i = U_{i-1}, \dots, U_{i-\nu}$. Состояние \bar{S}_i определяет номер узла на ярусе, а сообщение U_i - выбор одного из M ребер, исходящих из узла. Соответствующий этому ребру подблок \bar{X}_i выдается в канал. В начале передачи $\bar{S}_i = 0$. При получении подтверждения сообщение U_i помещается в накопитель и кодер переходит в новое состояние \bar{S}_{i+1} , сообщение $U_{i-\tau}$ покидает накопитель, по очередному сообщению U_{i+1} формируется и выдается в канал новый подблок \bar{X}_{i+1} . При получении запроса кодер переходит в состояние \bar{S}_{i+1} и повторяет передачу сообщения U_{i-1} .

Декодер вычисляет очередную оценку сообщения \tilde{U}_i по подблоку \tilde{X}_i , декодируя его на множестве слов блокового кода, образованного ребрами кодовой решетки, исходящими из некоторого узла. Номер этого узла на ярусе определяется по предыдущим оценкам $\tilde{U}_{i-1}, \dots, \tilde{U}_{i-\nu}$, хранящимся в накопителе и образующим оценку состояния кодера \tilde{S}_i . В начале $\tilde{S}_i = 0$. При декодировании по правилу $\varphi(\tilde{U}_i | \tilde{S}_i)$ возможны отказы от принятия решений. В этом случае из накопителя декодера удаляется оценка \tilde{U}_{i-1} , декодер возвращается к предыдущему состоянию \tilde{S}_{i-1} , по каналу ОС передается запрос. При успешном декодировании по правилу $\varphi(\tilde{U}_i | \tilde{S}_i)$ вычисленная оценка заносится в накопитель, декодер переходит в состояние \tilde{S}_{i+1} , по каналу ОС передается подтверждение. Сообщение \tilde{U}_i выдается получателю из накопителя декодера как только будут вычислены следующие оценки $\tilde{U}_{i+1}, \dots, \tilde{U}_{i+\tau}$.

При таком алгоритме кодер и декодер «перемещаются» по кодовой решетке: вперед при успешной передаче и назад при обнаружении ошибки. Покинувшие накопителя сообщения и недоступные поэтому кодеру и декодеру полагаются нулевыми.

Если из-за ошибок в прямом канале в накопитель декодера попадут ошибочные оценки, то состояние кодера \bar{S}_i и его оценка \tilde{S}_i оказываются несовпадающими. Кодер и декодер находятся в разных узлах и множество подблоков на котором декодер пытается декодировать \tilde{X}_i не совпадает с множеством, которому принадлежит \bar{X}_i . В результате возникает последовательность запросов, приводящих к удалению неверных оценок сообщений из накопителя.

При ошибках в канале ОС складывается аналогичная ситуация: последовательность сообщений в накопителе кодера и их оценок в накопителе декодера оказываются сдвинутыми друг относительно друга и в силу этого, с вероятностью близкой к единице, различными будут состояния

кодера и его оценка, кодер и декодер будут возвращаться по кодовой решетке.

Получены следующие результаты исследования способа [1] в условиях ошибок в канале ОС.

1. Пусть в некоторый момент времени j накопитель декодера содержит $\tilde{\mu}^j = \tau$ оценок, т.е. заполнен, и произошло искажение сигнала ОС. В этом случае вероятность появления вставки или выпадения сообщения на выходе декодера определяется выражением:

$$p_{сб} = 1 - \delta(< \tau),$$

где $\delta(< \tau)$ – вероятность восстановления синхронизации менее чем за τ передатч за счет ошибок в канале ОС, имеющих «противоположный» характер. Если произошедшее искажение сигнала ОС – единственное, то $p_{сб} = 1$. Понятно, что $\delta \ll 1$.

Поясним это утверждение следующим примером. При декодировании очередного подблока \tilde{X}_i принято решение о правильной передаче. При этом оценка сообщения \tilde{U}_i помещается в накопитель декодера, а оценка $\tilde{U}_{i-\tau}$ выдается получателю. Декодер переходит в состояние S_{j+1} . Пусть переданное подтверждение исказилось и получен запрос. Кодер переходит в состояние \bar{S}_{j-1} и повторяет передачу сообщения U_{i-1} . Если $\tilde{S}_{j+1} \neq \bar{S}_{j-1}$, то кодер и декодер будут возвращаться, стирая из накопителей сообщения и их оценки, пока не выйдут на нулевое состояние недоступные декодеру и кодеру оценки и сообщения заменяются нулями. Теперь кодер будет повторять последнее сообщение $U_{i-\tau}$ до получения подтверждения, но оценка сообщения $\tilde{U}_{i-\tau}$ уже выдана получателю. Так происходит вставка. Если произойдет искажение запроса, то возможно исправление (компенсация) вставки. Может оказаться, что $\tilde{S}_{j+1} = \bar{S}_{j-1}$, например, из-за передачи последовательности одинаковых сообщений. В этом случае возможна вставка сообщений U_{i-1}, U_i . При искажении сигнала запроса аналогично происходит выпадение сообщений.

2. Пусть накопитель декодера содержит $\tilde{\mu}^j < \tau$ оценок сообщений и произошло искажение сигнала ОС. В этом случае вероятность $p_{сб} < 1$ является убывающей функцией от разности $\tau - \tilde{\mu}^j$.

Декодер и кодер успевают вернуться к передаче сообщения ранее других записанного в накопителе прежде чем произойдет $\tau - \tilde{\mu}^j$ успешных передатч, т.е. до его выхода из накопителя, что и устранил сбой синхронизма.

Таким образом, при сверточно-блоковом кодировании вставки и выпадения могут быть исправлены, если длина накопителя τ превышает количество переданных сообщений. При этом потребуется возвращение к передаче самого первого сообщения.

Приведем алгоритм, свободный от указанных недостатков. Отописанного выше [1] он отличается лишь правилами, задающими движение кодера и декодера назад по кодовой решетке при переспросе.

Выберем m целых чисел $l_K \in \{L\}, K = \overline{1, m}$ таких, что $1 < l_1 < l_2 < \dots < l_m < \tau$ и каждому из них сопоставим числа $T_K \geq 2, T_K \in \{T\}, K = \overline{1, m}$.

При получении подтверждения кодер работает, как в описанном выше способе [1]. При получении запроса кодер проверяет совпадение количества сообщений в накопителе $\bar{\mu}^j$ с одним из чисел $l_K, K = \overline{1, m}$. Если $\bar{\mu}^j \neq l_K, K = \overline{1, m}$, то кодер ведет себя также, как в известном способе. В противном случае состояние кодера не изменяется до прихода T_K запросов подряд или сигнала подтверждения, происходит повторение одного и того же сообщения. После приема $T_K + 1$ запроса кодер продолжает движение назад, а после приема подтверждения продвигается вперед.

Декодер, приняв решение о стирании очередного подблока проверяет совпадение $\tilde{\mu}^j$ с одним из чисел $l_K, K = \overline{1, m}$. Если число оценок $\tilde{\mu}^j \neq l_K, K = \overline{1, m}$, то работает по известному алгоритму, в противном случае – сохраняет свое состояние до принятия T_K решений о стирании или до первого решения о правильной передаче.

Эвристическое обоснование алгоритма следующее. При возникновении ошибки в канале ОС последовательность сообщений и их оценок в накопителях оказываются сдвинутыми относительно друг друга. Кодер и декодер будут содержать разное количество оценок – либо кодер «опережает» декодер, либо наоборот. По мере возвращения на некоторое число шагов кодер и декодер останавливаются на T_K переспросов и «опережающий» ожидает «отстающего». С вероятностью близкой к единице восстановление синхронизма достигается до возвращения кодера и декодера на τ шагов по кодовой решетке и вставки/выпадения на выходе не возникает.

Удается показать, что параметры $\{L\}$ и $\{T\}$ могут быть выбраны так, что вероятность вставки или выпадения сообщений на выходе декодера экспоненциально уменьшается с ростом ν и τ .

В отсутствие ошибок в канале ОС для описанной модификации справедливы оценки скорости и вероятности ошибки из [1].

Список литературы

[1] K. Abend, B.D. Fritchman *Statistical Detection for Communication Channels with Intersymbol Interference*. Proc.:IEEE., 2011.

Прокофьев Михаил Львович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shinoda25px@yandex.ru.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К.Горбунов, А.А.Артамонов

КОНТРОЛИРУЕМАЯ СИСТЕМА ВЕРОЯТНОСТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Описана программная система моделирования трех семейств непрерывных одномерных вероятностных распределений (нормальное, бета и гамма). Особенности системы является возможность широкого варьирования формы функций плотности и тщательный контроль качества с помощью статических критериев согласия.

Постановка задачи. В основе вероятного моделирования на ЭВМ лежат базовые программные датчики, генерирующие псевдослучайные числовые последовательности с равномерным распределением в интервале $[0,1]$. Однако в практике моделирования желательно иметь легко управляемые и контролируемые модели для более разнообразных форм функции плотности. Хотя теоретические способы таких моделей и способы контроля хорошо известны [1] их практическая программная реализация для семейств распределений с широко варьируемой формой функции плотности является нетривиальной задачей. Хорошо известный пакет научных подпрограмм для статических применений не содержит подобной системы. В данной работе приводится краткое описание программной системы моделирования нормального, бета- и гамма-семейств распределения. Форма распределений задается особыми формообразующими параметрами в аналитических выражениях для функций или плотностей распределения генерируемых последовательностей.

Алгоритм моделирования основан на поэлементном преобразовании базовых последовательностей с помощью обратной функции линейно-аппроксимированного распределения:

$$y_i = \tilde{\lambda}_{[k\xi_i]/k} + \Delta l_{[k\xi_i]+1}(k\xi_i - [k\xi_i] + 1), i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

где ξ_i -исходное выборочное базовое значение (из равномерного в интервале $[0,1]$ распределения).

y_i -результатирующее выборочное значение из распределения $\tilde{F}_{y,a,b}$ аппроксимирующего искомое распределение $F_{x,a,b}$ по кусочно-линейному закону с точностью $F_{x,a,b} = 1/2k$.

k -индекс (число подинтервалов) аппроксимирующего разбиения.

$$\tilde{\lambda}_{j/k} = F_{x,a,l}^{-1}\left(\frac{j}{k}\right), j = 1, 2, \dots, k, \quad (2)$$

- k -квантили результирующего распределения ($F_{x,a,l}^{-1}$ -обратная функция этого распределения).

$$\Delta l_j = \lambda_{j/k} - \lambda_{(j-1)/k}, j = 1, 2, \dots, k \quad (3)$$

-длины межквантильных интервалов.

n -объем выборки.

[] -означает целую часть числа.

Моделируются три семейства распределений с функциями

$$F_N(x, m, \sigma) = \frac{l}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}\right) dt, -\infty < x < +\infty \text{ (нормальное)} \quad (4)$$

$$-\infty < m < +\infty, \sigma > 0, F_\beta(x, m, b) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \int_0^x t^{a-1} (1-t)^{b-1} dt, \\ 0 < x < 1, (\text{бета}), a > 0, b > 0, \quad (5)$$

$$F_\alpha(x, m) = \frac{1}{\Gamma(a)} \int_0^x t^{a-1} \exp(-t) dt, x >, a > 0 (\text{гамма}) \quad (6)$$

В выражениях для функции распределения формообразующие параметры явно выведены в список аргументов. Главной трудностью при реализации модели(1) является вычисление квантилей(2) для семейств(4,5,6).

Процедуры вычисления обратных функций распределения основываются на системе различных аппроксимаций и приближенных решений нелинейных уравнений. Особенно сложным является вычисление обратных функций распределения(5,6), соответствующие функции плотности и приближенно решающих нелинейные уравнения методом бисекции и Кокса.

При вычислениях по формуле (1) индекс k и предварительно вычисленные по (2) и(3) массивы квантилей и интервалов используются как постоянные параметры, поэтому собственно процедура моделирования оказывается достаточно простой.

Алгоритм тестирования реализует процесс вычисления статистических критериев согласия теоретической (ожидаемой) и эмпирической (полученной в результате моделирования) функций распределения. Для больших объемов выборок ($n \geq 500$) используется χ^2 -критерий Пирсона, а для умеренных объемов ($n = 50 + 500$) – критерий Колмогорова. Особенностью алгоритма тестирования является возможность программного вычислительного вычисления действительного вероятного уровня проверочной статистики:

$$L_S(s_A) = 1 - F_S(s_A), \quad (7)$$

$F_S(\cdot)$ - функция распределения проверочной статистики S для нулевой гипотезы (когда теоретическое и эмпирическое распределения действительно совпадают).

Автоматизация вычисления $L_S(\cdot)$ устраняет необходимость использования соответствующих статистических таблиц. Более того, программа может теперь автоматически принимать окончательное решение по проверке гипотезы согласия, если ей будет указан критический уровень L_{kp} (гипотеза принимается, когда $L_S(s_A) > L_{kp}$ и отклоняется при $L_S(s_A) \leq L_{kp}$). Величину L_{kp} (обычно равную 0.05 или 0.01) экспериментатор задает как входной параметр программы тестирования. Алгоритм тестирования позволяет отобрать те участки базовой последовательности, которые преобразуются в удовлетворительные (в смысле критериев согласия) производные последовательности.

Литература

[1] Blahut R.E. Computation of channel capacity and rate –distortion functions. - IEEE trans. Inform. Theory, 2012, v, 58. №4, p. 460-473.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Артамонов Алексей Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Sedoyded1@yandex.ru.

УДК 621.315.592.

И.Н. Радченко, Е.В. Маслов

КОЭФФИЦИЕНТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДА И УГЛЕРОДА В РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ РОСТА МУЛЬТИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Кислород и углерод – основные примеси в кремнии, применяемом при производстве фотоэлектрических преобразователей. Определенные типы дефектов на основе этих примесей уменьшают время жизни неосновных носителей в объемном материале и увеличивают рекомбинационную активность дислокаций. Кислород может обуславливать образование в растущем слитке включений второй фазы, SiO_2 [1], генерацию дислокаций и малоугловых границ [2], а также приводить к прилипанию растущего кристалла к стенкам кварцевого тигля [3]. Углерод присутствует в слитках мультикремния как в виде примеси замещения, так и, чаще всего, в виде так называемых «линз», включений карбида кремния. Деградация некоторых основных рабочих параметров солнечных батарей из-за дефектов на основе пары бор-кислород (LID-degradation) описана в статьях [4, 5]. Кроме того, включения на основе углерода и кислорода являются местами агломерации металлических примесей, что существенно ухудшает механические свойства пластин мультикристаллического кремния и качество изготавливаемых из них структур.

В работе представлены результаты экспериментального определения начальных концентраций и коэффициентов распределения углерода и кислорода по высоте слитков мультикремния, легированного бором (с удельным сопротивлением $(2-4)\text{ Ом}\cdot\text{см}$), полученных методом нормальной направленной кристаллизации на установках DSS-240 (USA). Средние концентрации углерода и кислорода в готовых пластинах составляли $(2-5)\cdot 10^{17} \frac{\text{ат}}{\text{см}^3}$ и $(0,5-3)\cdot 10^{17} \frac{\text{ат}}{\text{см}^3}$, соответственно. Анализ литературных данных показал, что полученные значения являются типичными для слитков мультикристаллического кремния, произведенных по аналогичной технологии.

Характер распределения C и O_2 по высоте слитка соответствовал стандартному распределению для полученных ранее слитков мультикремния. Концентрация углерода по высоте слитка возрастала в полтора–два раза, в то время как концентрация кислорода снижалась примерно на порядок (равновесный коэффициент распределения кислорода в кремнии

больше единицы). Распределение углерода по высоте слитка, скорее всего, является нелинейным: примерно до половины высоты блока рост концентрации достаточно большой; выше середины блока рост происходит менее выражено.

Концентрация примеси в процессе направленной кристаллизации определяется по известному уравнению [6]:

$$C_{mv} = K_{эфф} \cdot C_0 \cdot (1 - g)^{K_{эфф}^{-1}}.$$

Здесь C_{mv} [ат / см³] – концентрация примеси в кристалле; $K_{эфф}$ – эффективный коэффициент распределения примеси в расплаве кремния; C_0 [ат / см³] – начальная концентрация примеси; g – доля закристаллизовавшегося слитка.

На основе полученных с помощью ИК Фурье-спектрометра результатов измерений C_{mv} для кислорода и углерода были составлены системы уравнений направленной кристаллизации для двух известных величин g . Системы уравнений были решены относительно значений начальных концентраций углерода и кислорода в расплаве кремния ($C_{0(C)}$ и $C_{0(O_2)}$) и их эффективных коэффициентов распределения ($K_{эфф(C)}$ и $K_{эфф(O_2)}$). Решение систем уравнений проводилось с использованием программы MathCAD 15 (Solving Blocks, процедура Given/Minerr).

Пример системы уравнений и процедуры её решения для определения начальной концентрации и коэффициента распределения кислорода для центральных блоков мультикремния представлен ниже.

Given

$$\begin{cases} x \cdot y \cdot (1 - g_1)^{y-1} = \text{mean}(C_{\text{изм}(O_2),g1}) \\ x \cdot y \cdot (1 - g_2)^{y-1} = \text{mean}(C_{\text{изм}(O_2),g2}) \end{cases} \quad \begin{pmatrix} C_{0(O_2)} \\ K_{эфф(O_2)} \end{pmatrix} = \text{Minerr}(x, y)$$

$$C_{0(O_2)} = 1.412 \cdot 10^{17} \text{ ат} / \text{см}^3.$$

$$K_{эфф(O_2)} = 1,892$$

Расчеты искомых величин проводились отдельно для боковых и центральных блоков слитка. Затем аналогичный расчет проводился и по усредненным значениям концентраций углерода и кислорода, т.е. независимо от положения блока относительно стенок тигля. По данным Wacker Silicon Calculator, которые можно считать справочными, коэффициенты распределения углерода и кислорода в кремнии составляют величины 0,07 и 0,85, соответственно.

Результаты расчетов позволили установить, что:

– полученный коэффициент распределения углерода при росте слитков мультикремния в 10 раз больше справочного значения;

– полученный коэффициент распределения кислорода более, чем в два раза превышает приведенное значение.

Такое существенное различие между данными, полученными экспериментально и справочными данными, на наш взгляд, может быть объяснено именно большей долей механизма преципитации (образования включений второй фазы) в выращенных слитках мультикристаллического кремния. С этой точки зрения можно считать, что экспериментальное определение коэффициентов распределения кислорода и углерода, аналогичное представленному нами в данной статье, может дополнительно служить оценочным критерием качества слитков и использованных для их роста исходных материалов. Обработка результатов измерений параметров пластин, полученных в процессах при заведомо «чистых» исходных материалах (поликремний высокой чистоты) показала, что в данном случае отличие полученных коэффициентов распределения C и O_2 от справочных величин было незначительным.

Список литературы:

[1] H. J. Möller, L. Long, M. Werner and D. Yang. Oxygen and Carbon Precipitation in Multicrystalline Solar Silicon // *Physica Status Solidi (a)*. 1999. Vol. 171, no. 1, pp. 175-189.

[2] H. J. Möller, C. Funke, A. Lawrenz, S. Riedel and M. Werner. Oxygen and lattice distortions in multicrystalline silicon // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2002. Vol. 72, no. 1-4, pp. 403-416.

[3] V. V. Bolotov, M. D. Efremov, I. Babanskaya, and K. Schmalz. Raman study of mechanical stresses in processes of oxygen precipitation in silicon. // *Materials Science and Engineering: B*. 1993. Vol. 21, no. 1, pp. 49-54.

[4] Deren Yang, Liben Li, Xiangyang Ma, Ruixin Fan, Duanlin Que, and H. J. Möller. Oxygen-related centers in multicrystalline silicon // *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 2000. Vol. 62, no. 1-2, pp. 37-42.

[5] S. Martinuzzi and I. Perichaud. Influence of Oxygen on External Phosphorus Gettering in Disordered Silicon Wafers. // *Materials Science Forum*. 1994. Vol. 143-147, pp. 1629-1634.

[6] Нашельский А.Я. Производство полупроводниковых материалов. М.: Металлургия, 1999. 271 с.

Радченко Ирина Николаевна — канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rin-kf@yandex.ru.

Маслов Евгений Владимирович — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: rezaro@mail.ru.

И.Р.Бережанский, А.К. Горбунов

МЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, АПРИОРНОЕ ДООПРЕДЕЛЕНИЕ И МИНИМИЗАЦИЯ ОБУЧАЕМЫХ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Автомат запоминает связи между входными и выходными текстами системы-учителя и затем замещает ее функции. Доопределение придает замещающему автомату свойства ассоциативной опознающей выборки информации и минимизирует память. Автомат обладает всеми “голографическими” свойствами, включая надежность и возможность извлечения информации по ее части. Такая последовательностная память описывается в терминах теории конечных автоматов.

После обучения автомата A по схеме рис.1 он должен воспроизводить текст Y , совпадающий с текстом U автомата S в ответ на одинаковые входные тексты X . При большой размерности алфавита внутренних состояний n невозможен полный перебор входных ситуаций при обучении. Поэтому неизбежно произвольное задание большей части реакций $X \rightarrow Y$. При этом желательно наилучшим образом угадать реакции системы-учителя $X \rightarrow U$. Приближенное равенство $S(X) = U \cong A(X) = Y$ должно соблюдаться с минимальной погрешностью. Доопределение можно использовать для придания замещающему автомату свойств (1–3):

1.Ассоциативная выборка. Если автомат A после обучения преобразует текст X в текст Y , то он также должен преобразовывать цитаты или комбинации цитат текста X в соответствующие цитаты или комбинации цитат текста Y . Это свойство достигается, если память внутренних состояний быстро самоочищается от предшествующей информации. Автоматы, инвариантные к начальному состоянию, исследовали В.И.Левенштейн и др.

2.Опознающие свойства. Текст Y или его цитаты воспроизводятся такие в том случае, если текст X или его цитаты в определенных пределах отличаются от использованных при обучении.

3.Способность к доучиванию. Выходные реакции Y автомата A определены нулями, если входные тексты отличаются от использованных при обучении больше, чем это определено п.2. При доучивании часть этих нулей заменяется единицами.

Память внутренних состояний $Q = q_1, \dots, q_n$ и символ текста $X = \{x(t)\}$ на которых задана функция переходов F , $Q(t+1) = F(x(t), Q(t))$, и память емкости m , необходимая для формирования функции выходов, в общем случае соотноситься как n и 2^n . На схеме замещающего автомата, рис.2, n - это разрядность адреса, по которому записывается текущий символ текста

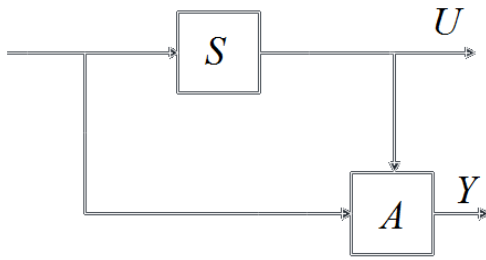


Рис.1

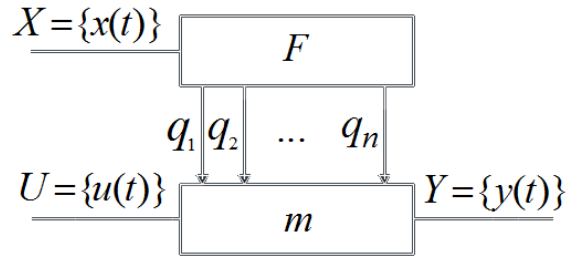


Рис.2

Функцию выходов удобно извлечь из разложения константы “1” на конститuentы k_i (каждый член – ячейка памяти), $i=1,2,\dots,m=2^n$

$$y = \sqrt{k_i(q_1, \dots, q_n)}_{i \leq m} \quad (1)$$

где лишние члены выявляются при обучении и вычеркиваются (при обращении по адресу $i = Q(t)$ при условии $u(t)=1$).

Для практически интересных случаев ($n \cong 150$) будет такую память реализовать нельзя. Но даже при очень больших длинах текстов $v = 10^{10}$ такая память будет использоваться неэффективно. Неравенство $v \ll 2^n$ говорит о том, что функция выходов будет слабо определена. Доопределяя, можно минимизировать ее и сократить потребность в памяти. Но, возможно ли это до обучения, когда еще сама функция не определена? Необходимость в сокращении памяти приводит нас к априорному доопределению еще неизвестной функции выходов, при котором имеется риск ошибочного формирования отдельных ее значений. Погрешность зависит от того, как будет очерчена область доопределения.

Рассмотрим доопределение функции выходов пороговыми функциями $h_i(q_1, \dots, q_n)$, представленными в области определения доменами единичных точек, например, хэмминговскими шарами радиуса τ_i и объема v_i , которые зависят от порога. Набором $\{h_i\}$ мы заменим $\{k_i\}$ в (1), стремясь получить $v \ll 2^n$. Состояние $Q(t)$, вызывающее возбуждение h_i , при $u(t)=1$ приводит к вычеркиванию i - того шара и доопределению функции в области, которая оказалась свободной. Попадание в эту же область нулей функции, $u(t)=0$, приведет к ошибкам. Избежать этого можно, потребовав согласования метрических свойств функции выходов и функции переходов:

$$d(Q_i, Q_j) > 2\tau; i, j = 1, 2, \dots, v, i + j. \quad (2)$$

Это требование легко выполняется при кодировании внутренних состояний избыточным кодом. Но даже без этих мер при использовании переходов типа сдвига и больших n это условие хорошо выполняется в вероятностном смысле

$$p(d(Q_i, Q_j) > 2\tau) = 1 - 2^{-n} \sum_{\alpha=0}^{2\tau} C_n^\alpha \quad (3)$$

Тогда при случайном выборе весов для аргументов пороговых функций вероятность ошибочного доопределения нуля равна

$$p(0 \rightarrow 1) = \left[1 - 2^{-n} \nu (1 - 2^{-n} \nu)^\beta \right]^m \quad (4)$$

где β - число единиц в тексте U . Условие минимума ошибок

$$\nu_{onm} = \frac{2^n}{\beta + 1} \quad (5)$$

показывает, что (4) переходит в выражение, не зависящее от

$$p = \exp\left(\frac{-m}{\beta e}\right) \quad (6)$$

Отсюда – объем памяти (число пороговых элементов)

$$m = -\beta e \ln p \quad (7)$$

оказывается в зависимости лишь от длины записываемого текста, $\nu \approx 2\beta$ и допустимой вероятности ошибки. Экономия памяти оказывается огромной, хотя и выражается через “отношение неопределенностей”: (6). Его можно разрешить, положив, например, $p = \gamma^{-1}$.

Может показаться, что реализация h_i сложнее k_i . Это не так: в обоих случаях расход памяти – один бит на функцию. Вместо пороговых сред можно использовать упаковки n -пространства шарами с центрами, расположенными согласно корректирующему коду. Но нужно иметь в виду, что условие (5) задает пересекающиеся шары.

Ошибки в сформированной функции выходов легко обнаруживаются системой-учителем в процессе записи или при контрольном воспроизведении. Запомнив текст ошибок, можно корректировать текст Y в процессе воспроизведения, приближая его к тексту U . С этой целью память автомата A емкости m делятся на секции m' и m_1 ($m' + m_1 = m$) соответственно для записи текста U и текста ошибок. Наилучший результат дает условие $m_1 = \beta e$. При этом точностные показатели m' ухудшаются в e раз из-за уменьшения памяти. Однако изъятая часть памяти m_1 затем улучшает точность воспроизведения, причем очень значительно

$$p_1 = \exp\left(-\frac{\beta}{\alpha} \frac{1}{ep}\right) = \exp\left(-\frac{1}{ep}\right) \quad (8)$$

где α - число нулей в тексте U ($\alpha + \beta = \nu$).

Продолжая секционирование теперь уже внутри m_1 , затем внутри m_2 и т.д., получим дальнейшее увеличение точности. Его можно оценить, оп-

ределив предел последовательности $p = p_0, p_1, p_2, \dots, p_n$. Обозначая $z_i = -\ln p_i$ и $a = \frac{m}{\beta e}$ получим

$$z_0 = a, z_1 = e^{a-1}, z_2 = e^{e^{a-1}}, \dots, z_i = e^{z_{i-1}-1} \quad (9)$$

Анализ показывает, что

$$\lim_{l \rightarrow \infty} z_i(a) = \begin{cases} 0 & \text{при } a > 1 \\ 1 & \text{при } a \leq 1 \end{cases} \quad (10)$$

или в первоначальных обозначениях

$$p_\infty = \begin{cases} 0 & \text{при } m > \beta e \\ e^{-1} & \text{при } m \leq \beta e \end{cases} \quad (11)$$

Оказывается, для точного воспроизведения текста $Y = U$ достаточна память $m > \beta e$, т.е. реализуется большая минимизация формы (1)

$$2^n \gg m - \beta e \quad (12)$$

Возможность безошибочного воспроизведения информации не является неожиданной. То же следует из теоремы К. Шеннона, утверждающей возможность достоверной передачи информации по каналу с шумом. Каналом здесь служит память, а шум оценивается формулой (6).

Более интересны результаты минимизации. Переход $2^n \rightarrow m > \beta e$ можно рассматривать как преодоление “числового барьера” между “средними” и “большими” числами (2), который препятствует развитию творческих возможностей ЭВМ.

Третий интересный метод можно сделать, представив (1) как заготовку ленты случайных чисел в машине Тьюринга. При обучении ленты автоматов S и A сравниваются, происходит копирование (аппроксимация) поведенческой информации. Односекционная память для безошибочной работы требует бесконечной ленты $m = \infty$. При детерминированной упаковке длина ленты $m = 2^n$. Секционирование позволяет ограничиться случайной лентой конечной длины $m > \beta e$.

Список литературы

[1]. YobarD. Associativeholographicmemories. IBM Journ. Res. Dev., [13], Marh 1999, [p.156-159].

Бережанский Иван Романович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: berezhanskiy.ivan@mail.ru.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

И.Р. Бережанский, А.К. Горбунов, П.А. Зорина, С.Ф. Цаплина

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЖАТИЯ ДАННЫХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается вероятностная модель автоматного метода сжатия, использующего статистику исходных данных. Дается оценка эффективности метода.

Существующие способы контроля достоверности передаваемой информации между различными устройствами ЭВМ, а также способы исправления ошибок требуют введения некоторой избыточности. Здесь избыточность играет положительную роль.

С другой стороны, сообщения, передаваемые по информационным каналам, могут быть малоинформативны и содержать избыточные несущественные сведения, на хранение, кодирование и передачу которых затрачиваются дорогостоящие ресурсы ЭВМ. Избыточность в кодах сообщений может быть устранена с помощью сжатия информации.

В данной работе рассматривается аналитическая вероятностная модель автоматного метода сжатия, использующего статистику исходной информации (1).

Способ состоит в преобразовании исходного алфавита $C = \{c_i\}$ в алфавит кода $D = \{d_i\}$, длина каждого слова которого равна длине первоначального слова алфавита C . Преобразование выполняется следующим образом. В заданном массиве информации $M = \{m_j\}$ определяется вероятностная модель распределения источника алфавита. Символы источника делятся на две группы - A и B . Для символов группы A используется кодирование, в котором старший разряд каждого символа имеет значение, равное 0 ($MSB=0$). Соответственно в группе B $MSB=1$. Преобразованные символы кода поступают в автомат, работа которого описывается графом (рис.1). В каждом состоянии кодер предполагает тип символов. В состоянии N кодер пропускает символы множества $A = \{a_i\}$ и $B = \{b_i\}$ с равной вероятностью без всяких изменений. Отображенные символы в состоянии $A(B)$ пропускаются без изменений, если $a_i \in A(b_i \in B)$, все они имеют $MSB=0$ ($MSB=1$). Если символ повторяется, то MSB инвертируется и символ не пропускается. При длине цепочки больше двух организуется счетчик с инверсией MSB .

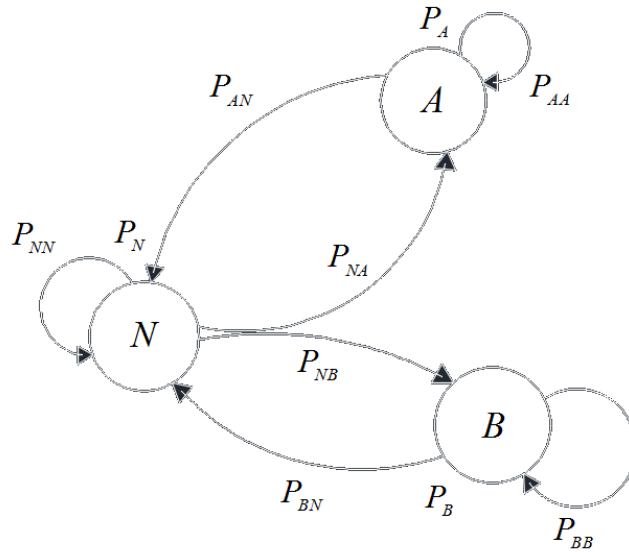


Рис.1. Вероятностно-топологическая модель автомата кодера

Эффективность метода можно оценить через $\gamma_{сж} = N_{исх} / N_{сж}$, где $N_{исх}, N_{сж}$ - количество бит, необходимое для описания исходного и сжатого массивов. Для конкретного массива можно рассчитать значение $\gamma_{сж}$:

$$\gamma_{сж} = T_{исх} \cdot n / T_{сж} \cdot n = T_{исх} / T_{сж}$$

где n - разрядность кодов символов; $T_{исх}, T_{сж}$ - количество символов в исходном и сжатом массивах. Определим среднее значение коэффициента сжатия:

$$\gamma_{сж.ср} = T_{исх} / M[T_{сж}] \quad (1)$$

где $M[T_{сж}]$ - математическое ожидание количества символов в сжатом массиве. Величину $M[T_{сж}]$ найдем, исходя из вероятностно-топологической модели кодера (рис.1):

$$M[T_{сж}] = P_N \cdot M_N[T_{сж}] + P_A \cdot M_A[T_{сж}] + P_B \cdot M_B[T_{сж}] + P_A \cdot M_{AN} T_{исх} + P_B \cdot M_{BN} T_{исх} \quad (2)$$

где $M_N[T_{сж}], M_A[T_{сж}], M_B[T_{сж}]$ - математическое ожидание количества слов на выходе кодера в состояниях N, A, B . Величина $M_N[T_{сж}] = T_{исх}$, поскольку в состоянии N сжатие не производится. Величины $M_A[T_{сж}]$ и $M_B[T_{сж}]$ можно получить из выражения:

$$M_{A(B)}[T_{сж}] = \begin{cases} T_{исх}, & \text{если } R_{срA(B)}=1 \\ T_{исх}/R_{срA(B)}, & \text{если } 1 < R_{срA(B)} \leq 2 \\ 2T_{исх}/R_{срA(B)}, & \text{если } 2 < R_{срA(B)} \leq 2^{n-1}-1 \\ lT_{исх}/R_{срA(B)}, & \text{если } (l-2)(2^{n-1}-1) < R_{срA(B)} \leq (l-1)(2^{n-1}-1) \end{cases} \quad (3)$$

где $R_{ср}$ - среднее значение длин цепей повторяющихся символов, принадлежащих множествам A и B ; $l = 3, 4, 5, 6, \dots$

Найдем выражения для определения P_N, P_A, P_B . Процесс смены состояния автомата рассматриваемого кодера под воздействием входной последовательности слов соответствует эргодической марковской цепи. Для задания случайного процесса в виде марковской цепи достаточно знать матрицу переходных процессов $\Pi = (p_{ij})$. Для рассматриваемого случая матрица переходных вероятностей имеет вид:

$$\Pi = \begin{matrix} & \begin{matrix} N & A & B \end{matrix} \\ \begin{matrix} N \\ A \\ B \end{matrix} & \begin{pmatrix} P_{NN} & P_{NA} & P_{NB} \\ P_{AN} & P_{AA} & 0 \\ P_{BN} & 0 & P_{BB} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

Определим элементы матрицы Π . Из состояния N в состояние $A(B)$ автомат переходит, если на вход кодера поступило K (константа инерции) символов из множества $A(B)$. Поэтому:

$$P_{NA} = \left(\sum_{i=1}^{\lfloor \frac{JM}{2} \rfloor} P_i \right)^K \quad (5)$$

$$P_{NB} = \left(\sum_{i=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor + 1}^M P_i \right)^K \quad (6)$$

где $M = AUB$ - мощность множества исходного массива. Тогда на основании $P_{NN} + P_{NA} + P_{NB} = 1$ для P_{NN} имеем

$$P_{NN} = 1 - \left(\left(\sum_{i=1}^{\lfloor \frac{JM}{2} \rfloor} P_i \right)^K + \left(\sum_{i=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor + 1}^M P_i \right)^K \right)$$

Из состояния A кодер может перейти либо в состояние N , либо опять в A . Поскольку из A в N кодер переходит при поступлении на его вход любого элемента из множества B , то

$$P_{AN} = \sum_{i=\lfloor \frac{M}{2} \rfloor + 1}^M P_i$$

Вероятность перехода кодера из состояния A в состояние A равна

$$P_{AA} = 1 - P_{AN} = \sum_{i=1}^{M/2} P_i$$

Принцип работы кодера в состоянии B аналогичен состоянию A .

Вектор начальных вероятностей $\vec{P} = (1, 0, 0)$, так как N - исходное состояние кодера. В соответствии с теорией марковских цепей можно записать уравнение

$$\bar{P}D = 0 \quad (7)$$

С учетом нормирующего условия $\sum_{i=1}^z P_i = 1$ система уравнений (7)

имеет единственное решение:

$$P_i = D_i / \sum_{i=1}^z D_i \quad (8)$$

где D_i - главный минор определителя матрицы D . Матричное уравнение, соответствующее рассматриваемому кодеру, имеет вид:

$$(P_N, P_A, P_B) \begin{pmatrix} 1 - P_{NN} & -P_{NA} & -P_{NB} \\ -P_{AN} & 1 - P_{AA} & 0 \\ -P_{BN} & 0 & 1 - P_{BB} \end{pmatrix} = (000)$$

На основании (8) имеем:

$$P_N = D_1 / (D_1 + D_2 + D_3), P_A = D_2 / (D_1 + D_2 + D_3),$$

$$P_B = D_3 / (D_1 + D_2 + D_3), \text{ где } D_1 = (1 - P_{AA})(1 - P_{BB}),$$

$$D_2 = (1 - P_{NN})(1 - P_{BB}) - (P_{BN})(P_{NB}), D_3 = (1 - P_{NN})(1 - P_{AA}) - (P_{AN}P_{NA})$$

Обозначив вероятности появления символов из множества A через x , а из множества B через $(1-x)$, получим

$$P_{AA} = x, P_{AN} = (1-x), P_{BN} = x, P_{BB} = (1-x),$$

$$P_{NA} = x^K, P_{NB} = (1-x)^K, P_{NN} = 1 - x^K - (1-x)^K$$

Тогда

$$D_1 = (1-x)x, D_2 = (x^K + (1-x)^K)x - x(1-x)^K = x^{K+1},$$

$$D_3 = (x^K + (1-x)^K)(1-x) - (1-x)^K = (1-x)^{K+1}$$

Таким образом, величины P_N, P_A, P_B можно представить как функции одной переменной

$$P_N(x) = x(1-x) / (x^{K+1} + (1-x)^{K+1} + x(1-x)),$$

$$P_A(x) = x^{K+1} / (x^{K+1} + (1-x)^{K+1} + x(1-x)),$$

$$P_B(x) = (1-x)^{K+1} / (x^{K+1} + (1-x)^{K+1} + x(1-x)).$$

Эффективность преобразователя зависит от разбиения символов на группы. Если, например, в одну группу собраны символы с наибольшей вероятностью поступления, то число переключений автомата сокращается, и эффективность преобразователя возрастает.

Для конкретного текста собирается статистика и выполняется приближенное оценивание с использованием рассмотренного вероятностного моделирования. Если сокращение не убедительное, то выполняется более точное моделирование работы автомата, представленного на *рис.1*.

Комплекс программ оценивания содержит также модели кодирования по Хаффману и методу совмещенных последовательностей.

Список литературы

[1]. Dishon Y. Data compaction in computer systems. Computerdesign, April, 2007. [P.85-90].

Бережанский Иван Романович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: berezhanskiy.ivan@mail.ru.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Зорина Полина Алексеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zorina_p_a@mail.ru.

Цаплина Светлана Федоровна – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: caplina.svetlana@bk.ru.

Н.В.Кирюхина, И.Н.Овчаренко, Т.В.Воробьева

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ С ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЫ В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ В УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Одной из основных целей изучения курса физики в техническом вузе является формирование способности «использовать основные законы естественных наук в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования [1]». Для ее достижения в программу лабораторного практикума по физике целесообразно включать работы исследовательского характера, сочетающие реальный эксперимент с вычислительным. Пример постановки и решения такой учебно-исследовательской задачи описан в настоящей статье.

Основу экспериментальной установки составляет горизонтально расположенная стальная трубка. Нагрев осуществляется электрическим током, проходящим по нихромовой проволоке, натянутой внутри трубки по ее оси.

Измерительный блок предусматривает возможность определения мощности нагревателя по значениям силы тока и напряжения. Для измерения температуры на поверхности трубки в нее впаяны четыре термопары (хромель-копель).

Учебно-исследовательский эксперимент с использованием описанной установки предусматривает несколько этапов.

1. Компьютерное моделирование процесса нагревания стержня до установления стационарного режима с последующей экспериментальной проверкой полученных результатов.

2. Экспериментальное исследование теплоотдачи в стационарном режиме.

3. Компьютерное моделирование процесса остывания стержня до первоначальной температуры с последующей экспериментальной проверкой полученных результатов.

На первом этапе разрабатывается математическая модель процесса нагрева трубки. Можно выделить и сформулировать несколько задач для моделирования:

- 1) нагрев воздуха внутри трубки (теплопроводность и конвекция);
- 2) теплопередача на внутренней поверхности трубки (свободно-конвективный теплообмен в ограниченном пространстве);
- 3) теплопроводность внутри цилиндрической стенки;
- 4) теплоотдача с внешней поверхности стенки (свободно-конвективный теплообмен в неограниченном пространстве).

Остановимся на последней задаче. Учитывая нагрев трубки током, конвективный теплообмен стенки с окружающей средой и излучение с поверхности стенки, получаем следующее уравнение теплового баланса:

$$IUdt = cmdT + \alpha S(T - T_0)dt + A\sigma S(T^4 - T_0^4)dt, \quad (1)$$

где t – время, T – температура стенки, T_0 – температура внешней среды, c – удельная теплоемкость материала трубки (сталь), m – масса трубки, $S = \pi dl$ – площадь поверхности стенки (d – внешний диаметр, l – длина трубки), α – коэффициент теплоотдачи, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴) – постоянная Стеффана-Больцмана, $A=0,8$ – интегральная степень черноты поверхности.

Разрешая его относительно производной, получаем

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{A\sigma S}{cm}T^4 - \frac{\alpha S}{cm}T + \frac{IU}{cm} + \frac{\alpha S}{cm}T_0^4 + \frac{A\sigma S}{cm}T_0^4. \quad (2)$$

Начальное условие

$$T(0) = T_0. \quad (3)$$

Решение этой задачи производилось в программной среде Scilab (свободно распространяемая система компьютерной математики). Программа реализует алгоритм численного решения уравнения (2) с начальным условием (3) при различных параметрах процесса и представляет его результат в виде графика зависимости температуры стенки от времени. Графическое решение в сопоставлении с данными, полученными путем прямого измерения температуры внешней поверхности трубки, приведено на рисунке 1 для трех режимов нагрева, определяемых мощностью тока, проходящего по нихромовой проволоке (в проведенных экспериментах она составляла 10,20 и 30 Вт). Результат компьютерного моделирования представлен на графике пунктирной линией.

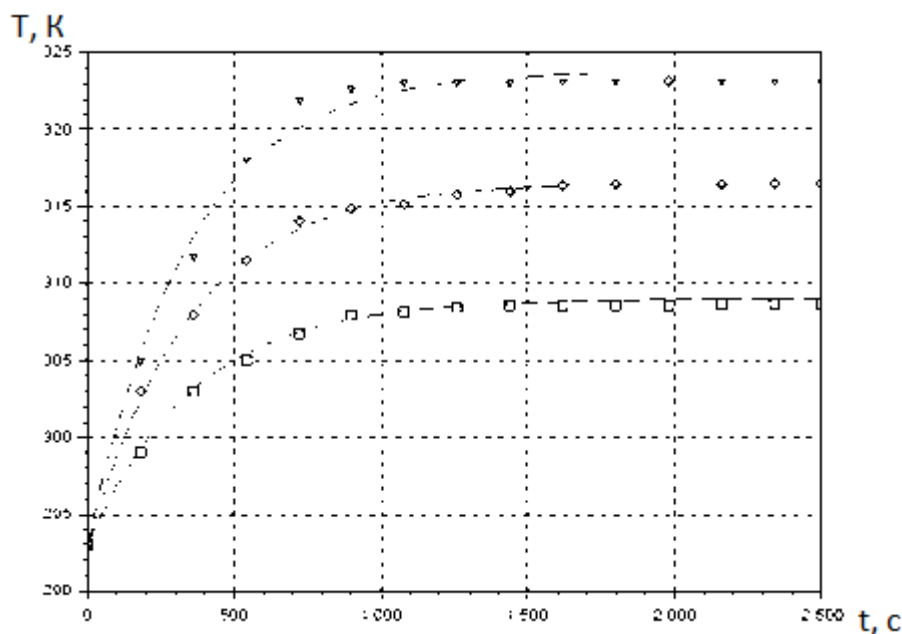


Рисунок 1 Графическое решение уравнения (1) с начальным условием (2) в сопоставлении с данными прямых измерений температуры стенки трубы для трех режимов нагрева

На втором этапе происходит исследование теплоотдачи с внешней поверхности стенки трубы в установившемся режиме. Из уравнения (1) с учетом, что температура стенки достигла стационарного значения T_c перестала меняться, получаем коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{IU - A\sigma S(T_c^4 - T_0^4)}{S(T - T_0)}. \quad (4)$$

Определяя эти коэффициенты для нескольких стационарных температур, устанавливающихся при различных интенсивностях нагрева, можно обобщить экспериментальные данные на основе теории подобия.

Критерий теплоотдачи (число Нуссельта), характеризующий взаимодействие интегральной теплоотдачи со стенки с теплопроводностью в пристенном слое воздуха

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda}, \quad (5)$$

где d – внешний диаметр трубки, λ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Уравнение подобия для теплоотдачи к воздуху, для которого число Прандтля (отношение кинематической вязкости к температуропроводности) $Pr=0,7$ согласно [2] имеет вид:

$$Nu = C \cdot Gr^n \quad (6)$$

где C и n – постоянные, Gr – число Грасгофа, характеризующее относительную эффективность подъемной силы, вызывающей термогравитационную конвекцию, рассчитываемое по формуле:

$$Gr = g\beta \frac{d^3}{\nu^2} (T - T_0). \quad (7)$$

Здесь g – ускорение свободного падения, β – температурный коэффициент объемного расширения среды, ν – кинематическая вязкость среды.

Уравнение (6) можно представить в виде

$$Nu = B \cdot 224(T - T_0)^n. \quad (8)$$

Величины B и n определяются на основании экспериментальных данных.

На третьем этапе моделируется процесс охлаждения наружной стенки трубки после прекращения нагрева. Уравнение теплового баланса в этом случае принимает вид

$$cm dT + \alpha S(T - T_0)dt + A\sigma S(T^4 - T_0^4)dt = 0,$$

или

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{A\sigma S}{cm} T^4 - \frac{\alpha S}{cm} T + \frac{\alpha S}{cm} T_0^4 + \frac{A\sigma S}{cm} T_0^4. \quad (9)$$

Начальное условие

$$T(0) = T_c. \quad (10)$$

Результат компьютерного моделирования в сопоставлении с данными эксперимента приведено на рис. 2. для трех начальных температур стенки, соответствующих описанным выше режимам нагрева.

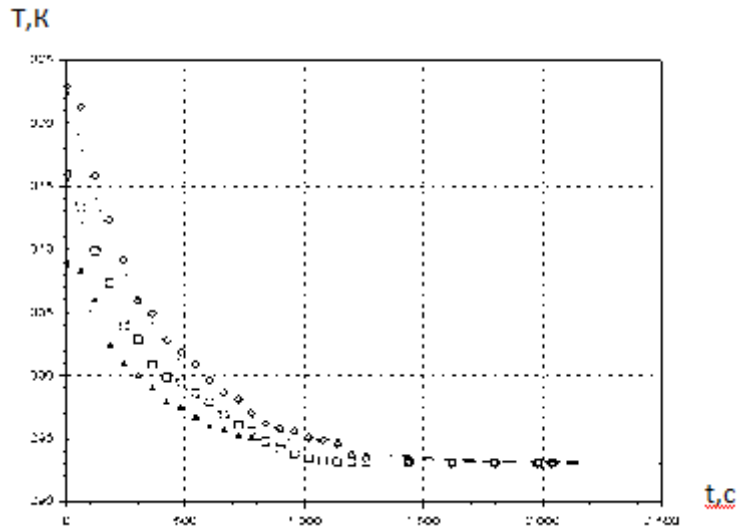


Рисунок 2. Графическое решение уравнения (9) с начальным условием (10) в сопоставлении с данными эксперимента для трех начальных температур стенки

Из графиков видно, что численное решение хорошо согласуется с экспериментом.

Отдельные задачи первого и третьего этапа могут быть предметом курсовой работы или проекта. Второй этап реализован в одной из работ лабораторного практикума по общей и экспериментальной физике в КГУ им. К.Э. Циолковского.

[1] *Федеральный государственный стандарт высшего образования по направлению подготовки 15.03.01 Машиностроение (уровень бакалавриата)*: Утвержден приказом Министерства образования и науки РФ 3 сентября 2015 г. URL: <http://fgosvo.ru> (дата обращения 20.10.2015).

[2] Кутателадзе С.С. *Теплопередача и гидродинамическое сопротивление* Москва, Энергоатомиздат, 1990, 367 с.

Кирюхина Наталия Владимировна — доцент, канд. пед. наук КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: 79158975732@yandex.ru.

Овчаренко Игорь Николаевич – ассистент кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ino1963@yandex.ru.

Воробьева Татьяна Владимировна – учитель физики СОШ № 2. E-mail: ms.lykianova@mail.ru.

А.К. Горбунов, Е.А. Коваленко, Г.Э. Амеличев

НАДЕЖНОСТЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В работе обсуждается роль контроля при обеспечении надежности вычислительных систем. Показано, что введение контроля может приводить как к увеличению, так и к уменьшению надежности системы в целом и что рациональная организация контроля может существенно увеличивать эффективность использования избыточности, предусмотренной для повышения надежности. Решена задача об оптимальном распределении ограниченных ресурсов времени на функции контроля, защиты и восстановления.

Постановка задачи.

Несмотря на успехи в области технологии, надежность средств вычислительной техники во многих случаях недостаточна, чтобы удовлетворить возросшие требования к надежности создаваемых на их основе вычислительных систем. Основным способом обеспечения заданной надежности является введение избыточности, реализуемой в виде запаса производительности, дополнительных емкостей памяти, резервных устройств. Архитектурные принципы построения современных ЭВМ и вычислительных систем допускают, в основном, такие методы повышения надежности, при которых диагностика, реконфигурация, рестарт и другие действия, направленные на включение избыточных ресурсов, возможны лишь после получения сигналов от системы аппаратного или программного контроля об ошибках из-за отказов и сбоев. Поэтому при отсутствии контроля или недостаточном его развитии эффективность использования избыточных ресурсов значительно снижается, так как их включение задерживается или не происходит вовсе. С другой стороны, реализация методов контроля также требует определенных аппаратных и временных ресурсов, что увеличивает общее количество оборудования в системе и время выполнения задания. При ограниченной надежности аппаратуры контроля отказы в ней расцениваются в ряде случаев как отказы всей системы. Это также снижает общие показатели безотказности. При действии двух противоположных факторов следует ожидать существования некоторого оптимального уровня контроля, определяемого из условия максимума вероятности безотказной работы или других показателей надежности. В реальных системах такая задача должна решаться кроме того в условиях ограниченных ресурсов, выделяемых на выполнение основных функций, функций контроля, диагностики, защиты, восстановления работоспособности, рестарта. Рассматриваемые здесь математические модели дают решение поставленной задачи для отдельных классов систем. Однако использованные в них методические подходы легко распространяются и на другие модели.

Модель неизбыточной системы.

При встроенном аппаратном контроле вероятность безотказной работы и коэффициент готовности системы при постоянных интенсивностях отказов элементов определяются по формулам:

$$P(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t\right), \quad \lambda_i = \lambda_{0i} + \lambda_{ki}, \quad \lambda_{ki} = \lambda_{0i} f(\alpha, \alpha_k)$$
$$K_{\Gamma} = \left(1 + \sum_{i=1}^n \lambda_i (\bar{t}_{bi} + \bar{t}_{обн} \beta)\right)^{-1}, \quad (1)$$

где λ_{0i} и λ_{ki} - интенсивности отказов контролируемой и контролирующей аппаратуры, $\alpha = 1 - \beta$ - полнота контроля в среднем по системе, α_k - полнота самоконтроля системы контроля (СК), $\bar{t}_{обн}$ и \bar{t}_{bi} - средние времена обнаружения отказов и восстановления работоспособности. Функция $\delta = f(\alpha, \alpha_k)$ отражает затраты оборудования на СК и организацию самоконтроля. Анализ ряда конкретных устройств и ЭВМ, проведенный различными авторами, показал, что учет этих затрат можно выполнить с помощью двухпараметрического выражения:

$$\delta = \alpha^m, \quad \delta = a^{-1 \ln(1-\alpha)^{-1}}, \quad (2)$$

Для моделей ЕС ЭВМ по различным оценкам $a = 7..9$ из (1) следует, что введение контроля в неизбыточную систему снижает вероятность безотказной работы. Коэффициент готовности с ростом α сначала растет, а затем начинает уменьшаться, достигая максимума при $\alpha_0 < 1$. Оптимальное значение α_0 в широком диапазоне параметров находится в пределах 0.90...0.98.

Модель структурно-избыточной системы.

Анализ различных схем резервирования с учетом полноты контроля позволяет сделать следующие выводы. Введение СК в резервированную систему и увеличение улучшает показатели безотказности, так как снижает долю необнаруживаемых отказов и, как следствие, долю фактически не резервируемой аппаратуры. И хотя здесь также в ряде случаев $\alpha_0 < 1$, оно существенно выше уровня, достигнутого в современных ЭВМ различных классов. Расчеты показывают, что несовершенство СК приводит к значительному снижению средней наработки системы по сравнению со случаем идеального контроля: при $\beta = 0.1$ и $\lambda_0 \bar{t}_b = 0.01$ в 5 раз; при $\beta = 0.02$ и $\lambda_0 \bar{t}_b = 0.001$ в 10 раз; при $\beta = 0.01$ и $\lambda_0 \bar{t}_b = 0.001$ в 40 раз. Образование потока обесценивающих отказов эквивалентно снижению полноты контроля и в этом случае резервирование может оказаться неэффективным, так как не защищает ни от обнаруженных, ни от обесценивающих отказов. Поэтому при ограниченных ресурсах необходимо согласовать характеристики СК с характеристиками системы защиты вычислительного процесса от последствий

отказов и сбоев. Повышение эффективности резервирования достигается также введением временной избыточности.

Модель системы с временной избыточностью и неполным аппаратным контролем.

В случае сбоев вероятность выполнения задания длительности t_3 при наличии резерва времени t_u определяется по формуле:

$$P(t_3, t_u) = \sum_{i=0}^{\lfloor t_u/t_3 \rfloor} \left(-\frac{\Lambda_1}{\Lambda_2} \right)^i e^{-(i+1)\lambda t_3} \left(I(i, \Lambda_2(t_u - it_3)) + \frac{\Lambda_1}{\Lambda_2} I(i+1, \Lambda_2(t_u - it_3)) \right), \quad (3)$$

где $\Lambda_1 = \sum_{i=1}^n (\alpha_{0i} \lambda_{0i} + \lambda_{ki})$, $\lambda = \sum_{i=1}^n (\lambda_{0i} + \lambda_{ki})$, $\Lambda_2 = \lambda - \Lambda_1$.

Эту формулу можно использовать и для приближенного расчета вероятности в случае отказов при быстром восстановлении. При большом t_u влияние обесценивающих отказов уменьшается и $P(t_3, t_u) \approx \exp(-\Lambda_2 t_3)$.

Модель системы с централизованным программным контролем и временной избыточностью.

Вероятность выполнения многоэтапного задания длительностью $t_3 = n\tau$ при затратах времени на контроль в конце этапа t_k и фиксированной последовательности тест-секций определяется как решение системы уравнений:

$$P_0(k\tau, t - k\theta) = p_1 P_0((k-1)\tau, t - k\theta) + q_1 P_1(n\tau, t - \theta - n\theta), \quad k = \overline{1, n},$$

$$P_1(n\tau, t - n\theta) = \int_0^t P_0(n\tau, t - n\theta - x) dF_b(x), \quad \theta = \tau + t_k, \quad (4)$$

где $p_1 = \exp(-\lambda\theta)$, $q_1 = \alpha(1 - p_1)$, $\alpha = \varphi(t_k)$, $F_b(t)$ - функция распределения времени восстановления, $t = t_3 + t_u$. Аналогичные уравнения можно составить и при случайной или переменной последовательности тест-секций. Анализ показывает, во-первых, что на эффективность использования избыточности существенно влияет стратегия тестирования. Лучшие показатели обеспечивает случайный выбор тест-секции. Во-вторых, существует минимальный уровень полноты программного контроля, достижение которого необходимо, чтобы получить приемлемую эффективность временного резервирования.

Оптимизация программного контроля.

Задача оптимизации состоит в выборе оптимального периода и оптимального вектора длительности тестирования каждого контролируемого блока в одном цикле, обеспечивающих экстремум назначенной целевой функции. Для решения задачи необходимо знать зависимость $t_k = t_k^0 f(\alpha)$ или $\alpha = \varphi(t_k)$, где t_k^0 длительность полного теста. В зависимости от выбора целевой функции и совокупности учитываемых факторов можно сформулиро-

вать несколько задач оптимизации. В первой задаче в качестве функционала выбирается вероятность обнаружения отказа q_1 . И тогда

$$q_1 = \sum_{i=1}^M (1-p_1)\alpha_i a_i / \Lambda_M = \max_{t_k} \sum_{i=1}^M t_{ki}, \quad (5)$$

где $p_1 = \exp(-\Lambda_M \theta)$, $\Lambda_M = \sum_{i=1}^M \lambda_i$, $\alpha_i = \varphi_i(t_{ki})$.

Эта задача имеет точное аналитическое решение:

$$t_{ki} = g_i(\xi), \quad \xi = g_i^{-1}(t_{ki}) = (1-p_1)\lambda_i \varphi_i'(t_{ki}) / \Lambda_M, \quad \sum_{i=1}^M g_i(\xi) = t_k. \quad (6)$$

В частности, при $\alpha = (t_{ki}^0 / t_{ki}^k)^{1/k}$, $k > 0$, имеем:

$$t_{ki} = (\lambda_i^k / t_{ki}^0)^{1/(k-1)} t_k / \sum_{j=1}^M (\lambda_j^k / t_{kj}^0)^{1/(k-1)}. \quad (7)$$

Уточнение первой задачи позволяет выбрать период тестирования и допустимое время контроля в каждом цикле при условии, что заданы длительность задания и резерв времени. Такая задача решается с помощью численной процедуры. Дополнительное расширение постановки задачи состоит в том, что в распределяемые ресурсы включается и время восстановления работоспособности.

Выводы.

Развитый аппаратный контроль в вычислительных системах является одним из главных условий высокой эффективности резервирования. Достигнутый в современных ЭВМ уровень характеристики контроля далек от оптимального значения и приводит к значительному снижению показателей надежности систем по сравнению с их предельными значениями. В структурно неизбыточных системах необходимым условием положительного влияния контроля на надежность является создание резерва времени, превышающее определенное пороговое значение. Введение в них развитого аппаратного контроля целесообразно лишь при значительной временной избыточности.

Список литературы

1. Lovasz L. On the Shannon capacity of graph, IEEE Trans. Inform. Theory IT-25, No.1, 2009, 1-7.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Коваленко Антон Сергеевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: anton1kovalenko@yandex.ru.

Амеличев Глеб Эдуардович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ЗАКАЧКИ НЕРАСТВОРИТЕЛЯ РАСЧЕТНЫМ ПУТЕМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В основе технологии подземного растворения солей (ПРС) через скважины с поверхностями лежит их свойство растворяться в воде. Суть метода заключается в следующем: в пробуренную и обсаженную до кровли соленой залежи скважину соосно спускают водоподающую и рассолозаборную колонны труб. Нагнетаемая в скважину вода в камере растворяет соль. Полученный соляной раствор за счет давления нагнетаемой воды поднимается на поверхность. Управление формообразованием камер растворения с целью обеспечения устойчивости междукамерных целиков и земной поверхности достигается отработкой соляной залежи снизу вверх в заданных диаметре и высоте камеры с применением жидкого нерастворителя (нефтепродуктов) – химически нейтрального к воде, соли и рассолу, изолирующего кровлю обрабатываемой ступени от произвольного растворения [1]. Сложные горно-геологические условия месторождений и отсутствие гибких технологических схем подземной разработки не позволяют управлять формообразованием камер растворения и делают практически невозможным контроль уровня нерастворителя [2]. Существенное улучшение процесса ПРС возможно за счет формирования вертикальной выработки в виде расширяющихся цилиндров в пределах проектного контура изменением уровня нерастворителя в обрабатываемой камере.

Выделим нерастворитель объемом V , предохраняющий кровлю камеры от растворения, высота слоя которого h :

$$V = \pi r^2 h - \pi r_1^2 h = \pi (r^2 - r_1^2) \cdot h, \quad (1)$$

где r – радиус размыва; r_1 – радиус трубы водоподающей колонны.

При поступлении нерастворителя в камеру:

$$Q_n = \frac{dV}{dt}, \quad (2)$$

С другой стороны, боковая поверхность при растворении “уходит” влево (вправо), тогда из (1):

$$\frac{dV}{dt} = 2\pi r h \frac{dr}{dt} + \pi r^2 \frac{dh}{dt} - \pi r_1^2 \frac{dh}{dt} = 2\pi r h \frac{dr}{dt} + \pi (r^2 - r_1^2) \frac{dh}{dt}, \quad (3)$$

Приравнивая (2) и (3):

$$2\pi r h \frac{dr}{dt} + \pi (r^2 - r_1^2) \frac{dh}{dt} = Q_n, \quad (4)$$

Чтобы найти h , необходимо решить уравнение:

$$\frac{dr}{d\tau} - \frac{k}{\gamma} \left[C_n - C_p + (C_p - C_0) e^{-\frac{\alpha \cdot 2\pi R(r-r_1)}{Q_s}} \right] = 0, \quad (5)$$

где k - коэффициент скорости растворения; C_n - концентрация насыщения; C_p - концентрация в объеме, прилегающей к слою; C_0 - начальная концентрация на границе раздела фаз; α - коэффициент скорости диффузии.

Представим его решение в виде:

$$r = \psi(\tau), \quad (6)$$

В результате совместного решения системы уравнений получим дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами относительно h :

$$\frac{dh}{d\tau} + \psi(\tau) \cdot h = Q_n, \quad (7)$$

Пусть $Q_n = 0$, тогда можно сделать ряд допущений: за время T , когда h уменьшается до опасного значения $h_{кр}$, радиус r увеличивается незначительно, то есть $r \approx const$, тогда

$$\begin{aligned} \psi(\tau) &= \psi(\tau_0) = const \\ \frac{dh}{d\tau} + \psi(\tau_0) \cdot h &= 0 \\ h &= h_{\tau_0} \cdot e^{-\psi(\tau_0)[\tau - \tau_0]}, \end{aligned} \quad (8)$$

Из данного уравнения можно определить максимально допустимый период времени контроля уровня нерастворителя ΔT_{max} при периодической его подкачке. Для этого необходимо подставить: $h = h_{кр}$; $\tau = T_{max}$:

$$h_{кр} = h_{\tau_0} \cdot e^{-\psi(\tau_0)[T_{max} - \tau_0]} \quad (9)$$

где $T_{max} - \tau_0 = \Delta T_{max}$.

Принимая $h_{\tau_0} = h_0$, получаем:

$$\Delta T_{max} = -\frac{1}{\psi(\tau_0)} \cdot \ln \frac{h_{кр}}{h_0} \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (4)-(6), имеем:

$$2\pi r \cdot \frac{k}{\gamma} \left[(C_n - C_p) + (C_p - C_0) e^{-\frac{\alpha \cdot 2\pi r(r-r_1)}{Q_s}} \right] \cdot h + \pi(r^2 - r_1^2) \frac{dh}{d\tau} = Q_n, \quad (11)$$

или

$$\frac{dh}{d\tau} + \frac{2r}{r^2 - r_1^2} \cdot \frac{k}{\gamma} \left[(C_n - C_p) + (C_p - C_0) e^{-\frac{\alpha \cdot 2\pi r(r-r_1)}{Q_s}} \right] \cdot h = Q_n, \quad (12)$$

Сравнив (7) и (12), находим $\Psi(\tau)$:

$$\Psi(\tau) = \frac{2r}{r^2 - r_1^2} \cdot \frac{k}{\gamma} \left[(C_n - C_p) + (C_p - C_0) e^{-\frac{\alpha \cdot 2\pi r (r - r_1)}{Q_s}} \right], \quad (13)$$

Рассмотрим функцию $\Psi(T_1 + \tau_0)$, где T_1 - время, за которое h уменьшалась

$$\Psi(T_1 + \tau_0) = \Psi(\tau_0) + \frac{d\Psi(\tau_0)}{d\tau} \cdot T_1 + \frac{d^2\Psi(\tau_0)}{d\tau^2} \cdot T_1^2 + \dots, \quad (14)$$

где величина $\frac{d^2\Psi(\tau_0)}{d\tau^2} \cdot T_1^2 \rightarrow 0$ (пренебрежимо мала ввиду малости T_1 по сравнению со временем размыва). Из (13) находим $\frac{d\Psi(\tau_0)}{d\tau}$:

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi(\tau_0)}{d\tau} = & -\frac{2(r_0^2 + r_1^2)}{(r_0^2 - r_1^2)^2} \cdot \frac{k}{\gamma} (C_n - C_p) + (C_p - C_0) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot 2\pi r_0 (r_0 - r_1)}{Q_s}} \times \\ & \times \frac{k}{\gamma} \left\{ \frac{2(r_0^2 + r_1^2)}{(r_0^2 - r_1^2)^2} + \frac{4\pi\alpha}{Q_s} \cdot \frac{2r_0^2 - r_1^2}{r_0^2 - r_1^2} \right\}, \end{aligned} \quad (15)$$

Введем обозначение:

$$\tau_0 < \tau < \tau_0 + T_1, \quad (16)$$

тогда из (14):

$$\Psi(\tau) = \Psi(\tau_0) + \frac{d\Psi(\tau_0)}{d\tau} (\tau - \tau_0), \quad (17)$$

Используя (13), (15) и (17), получим:

$$\begin{aligned} \Psi(\tau) = & \frac{2r_0}{r_0^2 - r_1^2} \cdot \frac{k}{\gamma} \left[C_n - C_p + (C_p - C_0) \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot 2\pi r_0 (r_0 - r_1)}{Q_s}} - \right. \\ & - \left. \left[\frac{2(r_0^2 + r_1^2)}{(r_0^2 - r_1^2)^2} \cdot \frac{k}{\gamma} (C_n - C_p) - (C_p - C_0) e^{-\frac{\alpha \cdot 2\pi r_0 (r_0 - r_1)}{Q_s}} \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times \frac{k}{\gamma} \left\{ \frac{2(r_0^2 + r_1^2)}{(r_0^2 - r_1^2)^2} + \frac{4\pi\alpha}{Q_s} \cdot \frac{2r_0^2 - r_1^2}{r_0^2 - r_1^2} \right\} \right] \right] (\tau - \tau_0) \end{aligned} \quad (18)$$

Подставляем (18) в (17):

$$\frac{dh}{d\tau} + \left\{ \Psi(\tau_0) + \frac{d\Psi(\tau_0)}{d\tau} (\tau - \tau_0) \right\} \cdot h = Q_n \quad (19)$$

Рассмотрим случай дискретной закачки нерастворителя: $Q_n = 0$ через промежуток времени T . Тогда из (19):

$$\frac{dh}{d\tau} + \left\{ \psi(\tau_0) + \frac{d\psi(\tau_0)}{d\tau}(\tau - \tau_0) \right\} \cdot h = 0, \quad (20)$$

откуда

$$\frac{dh}{h} = -\psi(\tau_0)d\tau - \frac{d\psi(\tau_0)}{d\tau}(\tau - \tau_0)d\tau \quad (21)$$

интегрируем:

$$\ln \frac{h}{h_0} = -\psi(\tau_0)(\tau - \tau_0) - \frac{d\psi(\tau_0)}{d\tau} \cdot \frac{(\tau - \tau_0)^2}{2} \quad (22)$$

$$h = h_0 e^{-\psi(\tau_0)(\tau - \tau_0)} \cdot e^{-\frac{d\psi(\tau_0)(\tau - \tau_0)^2}{2}}, \quad (23)$$

где h_0, h - уровень нерастворителя в моменты времени τ_0 и τ соответственно.

Пусть h достигает критического значения $h_{кр}$, тогда

$$-\ln \frac{h_{кр}}{h_0} = \psi(\tau_0)[T - \tau_0] + \frac{1}{2} \frac{d\psi(\tau_0)}{d\tau} [T - \tau_0]^2, \quad (24)$$

где T - время, за которое $h = h_{кр}$, или

$$[T - \tau_0]^2 + \frac{2\psi(\tau_0)}{\psi'(\tau_0)} [T - \tau_0] + \ln \frac{h_{кр}}{h_0} = 0, \quad (25)$$

$$D = \frac{4\psi^2(\tau_0)}{(\psi'(\tau_0))^2} - 4 \ln \left(\frac{h_{кр}}{h_0} \right);$$

$$T - \tau_0 = \frac{-2 \frac{\psi(\tau_0)}{\psi'(\tau_0)} \pm \sqrt{\frac{4\psi^2(\tau_0)}{(\psi'(\tau_0))^2} - 4 \ln \left(\frac{h_{кр}}{h_0} \right)}}{2}, \quad (26)$$

Для $T = \tau_0, h_{кр} = h_0$, то есть берем знак “+”

$$0 = \left\{ \frac{-2\psi(\tau_0)}{\psi'(\tau_0)} + 2 \frac{\psi(\tau_0)}{\psi'(\tau_0)} \right\} \cdot \frac{1}{2}, \quad (27)$$

Из (26) и (27) получаем:

$$T - \tau_0 = \frac{-2\psi(\tau_0) + \left[\frac{4\psi^2(\tau_0)}{(\psi'(\tau_0))^2} - 4 \ln \left(\frac{h_{кр}}{h_0} \right) \right]^{1/2}}{2}, \quad (28)$$

Таким образом из выражения (28) определяем промежуток времени T , за который может произойти обношение кровли камеры.

Литература

[1]. Аренс В. Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. М., Недра, 1998.

[2]. Аксельруд Г. А. Массообмен в системе твердое тело - жидкость. Санкт-Петербург, 2001.

Китаева Тамара Сергеевна — канд. техн. наук, доценткафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

И.Ж. Безбах, В.И. Стрелов, Б.Г. Захаров

**НОВАЯ НАУЧНАЯ АППАРАТУРА “КРИСТАЛЛ”
ДЛЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ БЕЛКОВ В УСЛОВИЯХ
МИКРОГРАВИТАЦИИ И ЕЕ АПРОБАЦИЯ
НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ “ФОТОН-М” № 4**

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В июле–августе 2014 г. проведен космический эксперимент по кристаллизации белка лизоцима с активным управлением температурой в научной аппаратуре “Кристалл” на борту космического аппарата «Фотон-М» №4. Одновременно в ФИК РАН НИЦ КМ проводился наземный эксперимент. Во всех случаях были получены высокосовершенные кристаллы, пригодные для рентгеноструктурного анализа. Размеры и совершенство кристаллов лизоцима, выращенных в условиях микрогравитации, превышают их земные аналоги. Рентгенодифракционное исследование кристаллов лизоцима показал, что разрешающая способность кристаллов, полученных в наземных условиях, составляет до 1,74 Å, а полученных в космическом эксперименте – 1,54 Å, что доказывает высокое совершенство их структуры.

Кристаллизация биоматериалов в настоящее время необходима в биологии и медицине для определения пространственных структур органических молекул кристаллографическими методами, что в дальнейшем позволяет проводить как синтез новых веществ с требуемыми свойствами, так и решать некоторые фундаментальные вопросы функционирования живых систем в целом. Одним из важнейших факторов, определяющих успех этих исследований, являются процессы роста биокристаллов, осуществляемые не только в наземных, но и в космических экспериментах [1–2].

Актуальной и важной задачей является разработка новых эффективных методов, аппаратуры и технологий получения высококачественных кристаллов биомакромолекул, в особенности в условиях микрогравитации, в которых можно минимизировать влияние внешних воздействий и гравитации.

Как было показано ранее [3], способ температурного управления процессами кристаллизации белка является значительно более технологичным и более эффективным для выращивания высокосовершенных кристаллов по сравнению с традиционными методами, при этом исключается конвекция в растворе, а также практически устраняется влияние вибраций на процессы кристаллизации, и таким образом в земных условиях обеспечивается максимально возможное приближение к диффузионным условиям теплопереноса в растворе белка, а в космических условиях – диффузионный режим, т.е. условия самоорганизации макромолекул белка при встраивании их в кристаллическую решётку. При этом процесс кристаллизации макромолекул становится управляемым и воспроизводимым.

Космические эксперименты показали как достоинства, так и определенные недостатки всех типов существующих в настоящее время устройств. По результатам проведенных исследований был сформулирован и реализован подход к решению проблемы получения кристаллов с высоким совершенством структуры, заключающийся в реализации метода температурно-управляемой кристаллизации, обеспечивающего раздельное управление процессом кристаллизации белков как на этапе их зародышеобразования, так и в процессе дальнейшего роста образовавшихся кристаллов.

Данный метод является более технологичным и более эффективным для получения высокосовершенных кристаллов белков по сравнению с традиционными. Управление температурой влияет на растворимость белков и скорость роста кристаллов, оставляя концентрацию неизменной. При этом появляется возможность регулировать количество зародышей и скорость роста кристаллов, тем самым процесс кристаллизации становится управляемым и воспроизводимым.

На основе проведенного анализа существующих методов кристаллизации и известной и используемой в мире аппаратуры для кристаллизации белков в земных и космических условиях [4] сделан вывод о необходимости создания автоматизированной установки с управляемой температурой процессами зарождения и кристаллизации белков, как наиболее эффективной для получения высокосовершенных белковых кристаллов. Для эффективного использования такой установки для получения кристаллов различных белков с температурным управлением процессами зародышеобразования и кристаллизации необходимо иметь исходные данные о температурной зависимости растворимости этих белков.

Управление процессом кристаллизации осуществляется путем:

- задания и прецизионного поддержания требуемой температуры всего раствора белка в капилляре;
- поддержания с точностью $\pm(0,1-0,2)$ °С в локальной точке капилляра с раствором соответствующей температуры для обеспечения необходимого пересыщения для зарождения единичных (1 – 2) центров кристаллизации;
- управление температурой в локальной точке капилляра и, соответственно, пересыщения в процессе разрачивания кристалла из образовавшегося зародыша [5].

Циклограмма эксперимента включает следующие фазы:

- 1) выход установки на рабочий режим при управлении температурами в точке и во всём растворе;
- 2) выдержку при заданных температурах до появления первых зародышей;
- 3) регулируемое управление температурой в точке и всего объема раствора до роста кристалла размером $\sim (0,5 - 1,0)$ мм.

На основе проведенных исследований и экспериментов была разработана простая по конструкции маломассогабаритная (массой до 5 кг и объемом 4–5 дм³) ростовая установка, обеспечивающая в течение одного цикла

рост кристаллов белков в капиллярах при минимальном расходе растворов белков.

На автоматическом космическом аппарате «Фотон-М» №4 были проведены успешные летные испытания научной аппаратуры (июль–август 2014 г.) при выращивании в условиях микрогравитации высокосовершенных кристаллов белка лизоцима. Во всех пробах в результате наземных и космических экспериментов были получены кристаллы лизоцима. Совершенство структуры выращенных кристаллов лизоцима определялось по величине дифракционного разрешения на рентгеновской установке. В результате рентгеновских исследований выращенных кристаллов, проведенных в Институте кристаллографии РАН, установлено, что во всех капиллярах выросли монокристаллы лизоцима, и во всех капиллярах в результате космического эксперимента получены кристаллы высокого качества с дифракционным разрешением не хуже $1,54\text{Å}$, т.е. с предельным разрешением, которое достижимо на имеющемся рентгеновском оборудовании. При этом полученные кристаллы лизоцима, находящиеся с раствором в капиллярах, имели различные размеры: от одного крупного кристалла ($\sim 1\text{ мм}^3$) до 3–5 кристаллов размерами $0,2\text{--}0,3\text{ мм}^3$ в большинстве капилляров. Высокий уровень совершенства структуры больших и малых по размеру таких кристаллов – все они проявляют дифракционное разрешение не хуже $1,54\text{ Å}$ – свидетельствует о нормальном температурно-управляемом без спонтанной кристаллизации процесса роста кристаллов.

В то же время для кристаллов, полученных в результате наземного эксперимента, величина дифракционного разрешения доходит лишь до $1,74\text{Å}$, и сильно варьируется от пробы к пробе.

Можно сделать вывод, что разработанный летный образец научной аппаратуры практически, в условиях наземной отработки и космического эксперимента, успешно реализует метод температурно-управляемой кристаллизации белков. Этот метод за счет использования рентгеновских капилляров не требует большого количества растворов белка, исключает возможность повреждения кристаллов при проведении дифракционных исследований. Был успешно реализован алгоритм автоматического изменения температуры, позволяющий по определенному закону приближаться к требуемому пересыщению. Высокий уровень совершенства полученных кристаллов, все они характеризуются уровнем дифракционного разрешения не хуже $1,54\text{ Å}$, свидетельствует о перспективности использования данного метода и аппаратуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (грант № 14-42-03119).

Литература

[1] Куранова И.П. Кристаллизация белков на земле и в невесомости // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2004. — № 7. — С. 4–12.

[2] Chayen N.E. Turning protein crystallisation from an art into a science // Current Opinion in Structural Biology. — 2004. — V. 14. — P. 577–583.

[3] Безбах И.Ж., Косушкин В.Г., Захаров Б.Г., Стрелов В.И., Артемьев В.К., Гинкин В.П., Фоломеев В.И. Оптимизация роста кристаллов белков с применением метода теплового управления // Методы исследования и проектирования сложных технических систем: Сборник статей (Труды МГТУ №592) — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2006. — С. 18–26.

[4] Rosenberger F., Howard S.B., Sowers J.W., Nyce T.A. Temperature dependence of protein solubility – determination and application to crystallization in X-ray capillaries // Journal of Crystal Growth. — 1993. — V. 129. — P. 1–12.

[5] Стрелов В.И., Захаров Б.Г., Безбах И.Ж., Сосфенов Н.И. Кристаллизация белка лизоцима в прецизионно-управляемом градиенте температуры // Кристаллография. — 2008. — Т. 53, № 1. — С. 145–148.

Безбах Илья Жанович – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ilya.bezbakh@gmail.com.

Стрелов Владимир Иванович – д-р физ.-мат. наук, директор Филиала Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН НИЦ "Космическое материаловедение". E-mail: strelovvi@kaluga.ru.

Захаров Борис Георгиевич – д-р техн. наук, главный научный сотрудник Филиала Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН НИЦ "Космическое материаловедение". E-mail: zakharov@kaluga.rosmail.com.

В.Д. Шкилев, Л.С. Беккель

НОВЫЙ ПОДХОД К КЛАССИФИКАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Исторически сложилось, что классификация ДВС (двигатель внутреннего сгорания) излагается просто в виде перечисления трех типов – двигателя Отто (использующего режим быстрого сгорания топлива), двигателя Дизеля (с медленным сгоранием) и двигателя Тринклера (со смешанным сгоранием топлива). [1]

Автомобили, использующие в качестве топлива жидкий воздух или жидкий азот, появились в позапрошлом веке. При скорости 20 км/час и при полном 68-литровом баке жидкого воздуха запас хода криомобиля достигал 64 километров. Такие невзрачные параметры были быстро вытеснены двигателями внутреннего сгорания, которые используют режим сгорания органического топлива, а криодвигатель – режим испарения криогенных жидкостей. Теплота сгорания бензина на порядок больше теплоты испарения жидкого воздуха. Через столетие было осознано, что основной экологической проблемой городов стали вредные вещества от двигателей внутреннего сгорания. Это не могло не вызвать интерес к двигателям внутреннего охлаждения.

Собранный в 1998 году экспериментальный карт CoolLN2Car на жидком азоте с поршневым двигателем и баком объемом 180 литров оказался в четыре раза более прожорливее примитивной конструкции XIX века, несмотря на современные высокотехнологичные материалы.

В 2000 году аналогичный 15-сильный двигатель внутреннего охлаждения, построенный в Вашингтонском университете на основе пневмомотора, съедает почти 20 литров ледяного «топлива» и с трудом разгонялся до 35 км/час. В 2011 году Питер Дирмэн перенес процесс расширения воздуха из отдельного теплообменника, и все кульминационное действие расширения воздуха совершает непосредственно в цилиндре двигателя внутреннего охлаждения. Далее он применяет хитроумную систему впрыска, обеспечивая при этом образование послойно разноименно заряженных двух объемов рабочих жидкостей – жидкого теплоносителя (антифриза) и вслед за ним жидкого азота. В камере происходит быстрое изотермическое расширение газа, и поршень совершает механическую работу с максимальным КПД расширения. В конце рабочего такта антифриз конденсируется, сбрасывает избытки «холода» на радиаторе и возвращается в тепловой цикл. Такой двигатель легко превышает скорость в 50 км/час. Сам Дирмэн считает, что идеальным применением для криогенного двигателя могут стать складские погрузчики, вспомогательные транспортные средства и легкая строительная техника, для которых скорость свыше 50 км/час не так уж и важна.

Ограничение скорости при перемещении между городами значительно выше, чем самые оптимистические прогнозы возможности двигателя Дирмэна. Частично эту проблему можно решить за счет синтезных двигателей, способных реализовать режим внутреннего испарения жидкого воздуха в черте города с возможностью переключения за чертой города двигателя на режим попеременного сгорания органического топлива и охлаждения двигателя жидким воздухом. Новая классификация (рис. 1) содержит в себе черный круг, отвечающий за двигатели внутреннего сгорания, который фрактален относительно внутренней классификации двигателей внутреннего сгорания. [2]

КПД такого двигателя будет превышать КПД двигателя Дирмэна. Огромные возможности скрываются в синтезном двигателе, в котором резко снижается температура выхлопа. Конечно, нужны затраты и на создание материалов, способных выдерживать длительное время циклические температурные перепады в широчайшем диапазоне температур.



Рис. 1. Монада, предсказывающая рождение синтезных двигателей.

Это реальный будущий патент Шкилева В.Д. на один из первых, а возможно и первый двигатель, работающий на синтезных принципах, полученный в России в 2015 году со следующей формулой изобретения. [3]

Формула изобретения на способ работы двигателя

Способ работы двигателя, основанного на попеременном сжигании топлива в камере сгорания путем подогрева воздуха и впрыскиванием в него жидкости, отличающийся тем, что попеременно с режимом сгорания в камере, движение подвижного элемента (диафрагмы) в противоположную сторону осуществляется за счет введения в камеру сухого подогретого

воздуха с одновременной подачей и диспергированием криогенной жидкости, например, жидкого воздуха.

Дальнейшие эволюционные возможности монады приводят не к тройной, а 5-элементной монаде, в которой 2 новых островка могут отвечать за водородные и электрические двигатели (рис. 2). Такой синтезный двигатель должен совместить в себе и все преимущества водородного и электрического двигателей: будет использовать вместо сжигания органического топлива сжигание водорода – самого перспективного топлива, а вместо сегодняшних аккумуляторов в электрических двигателях придут низкотемпературные аккумуляторы на сверхпроводящих элементах. В новом синтезном двигателе будет сжигаться водород, продуктом сгорания которого будет вода, и охлаждаться жидким воздухом с выхлопом в окружающую среду – очищенного воздуха.

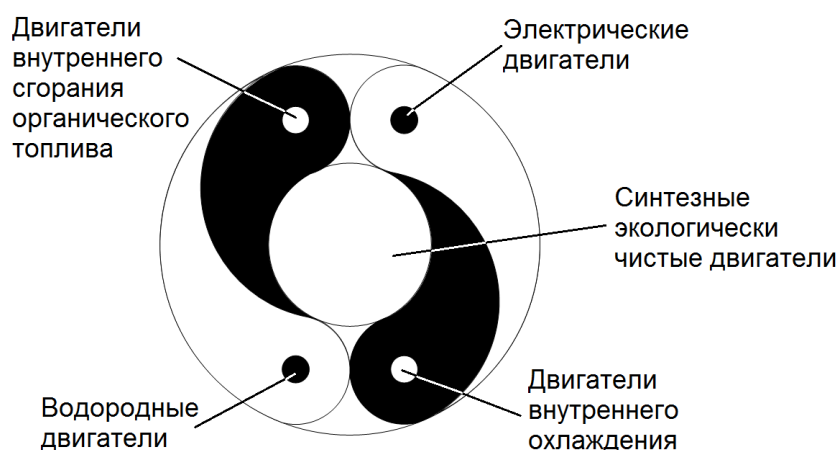


Рис. 2. 5-элементная монада, как новый этап в развитии синтезных двигателей.

Как известно, Россия и ЕС сосредоточились на токамаках, а США на стелляторах. Международный проект ИТЕР (ИТЕР), строящийся сегодня во Франции, предназначен для удержания плазмы в течение 360 секунд и основан на идее токамака. Но этот проект не соответствует законам мироздания, а, следовательно, не будет получен новый интеллектуальный продукт. Новый генеральный директор проекта Бернар Биго делает упор на менеджмент при реализации проекта и гордо заявляет, что для Проекта ИТЕР нет «плана Б». Диалектика Гегеля и монада убеждают нас в том, что «план Б» просто обязан быть. Первый шаг в формировании «плана Б» уже сделан и предложен реактор, в котором активная зона реактора выполнена в виде вихревого тора (рис. 4). [4]

Формула изобретения

1. Термоядерный реактор, содержащий активную зону в виде тора, систему охлаждения, систему магнитных ловушек плазмы и систему управления, отличающийся тем, что активная зона выполнена в виде вихревого тора, система охлаждения выполнена в виде проточно-испарительного теплообменника, имеющего также форму вихревого тора,

эквидистантно расположенного относительно активной зоны, а часть магнитных ловушек размещена между витками вихревого тора.

2. Термоядерный реактор по п.1, отличающийся тем, что активная зона снабжена двумя типами магнитных ловушек, согласованных в работе между собой, причем один тип магнитных ловушек равномерно распределен по поверхности вихревого тора, а второй установлен по его оси. [5]

Помимо снятия ряда проблем по устойчивости плазмы, выбор активной зоны в виде вихревого тора позволят существенно увеличить объем активной зоны и увеличить площадь теплообмена, что снимает ряд технологических ограничений по организации теплоотвода от активной зоны 1 и других элементов инженерного назначения, которые трудно вписываются в активную зону с простым тором.

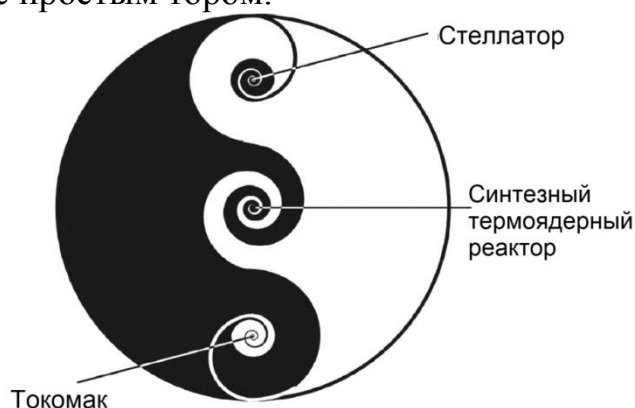


Рис. 3. Монада как символ рождения синтезного термоядерного реактора.

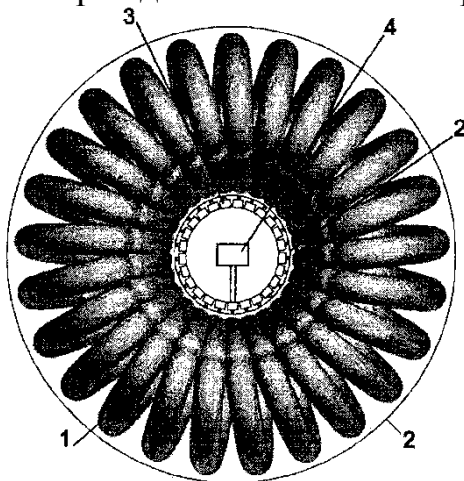


Рис. 4. Синтезный термоядерный реактор: 1 – активная зона, 2 – система охлаждения, 3 – система магнитных ловушек плазмы, 4 – система управления.

Литература

1. Рене Генон. Символы священной науки. – М: Беловодье, 2002. – с. 494.

2. Шкилев В.Д. О первопричине когерентности и интерференции мировых религий и мировых культур// Альманах современной науки. – 2011. – № 4 (47). с. 31-58.

3. Шкилев В.Д., Мартынюк Н.П. Способ работы двигателя. Положительное решение по заявке № 2012 148856. Патент от 2015 года.

4. Шкилев В.Д. Монадная модель мироздания// Альманах современной науки. – 2012. – № 2 (57), с. 34-40.

5. Шкилев В.Д., Бойко А.Н. Термоядерный реактор. Патент РФ № 2535263, кл. G21B1/00 от 2015 года.

Шкилев Владимир Дмитриевич - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vladimir-schilev@mail.ru.

Беккель Людмила Сергеевна - ассистент кафедры "Инженерная графика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: milla2606@rambler.ru.

А.К. Горбунов, А.Н. Куликов, И.Н. Овчаренко, А.И. Чухраева

О ВОЛНАХ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕЙТРАЛЬНОЙ ПРИМЕСИ В ОСЕСИММЕТРИЧНОМ ФИЛЬТРАЦИОННОМ ПОТОКЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Движение растворимых примесей в пористых средах имеет место во многих физико-химических процессах таких, как диффузия, хроматография, тепломассоперенос, миграция нейтральных примесей и является предметом исследования различных прикладных инженерных наук. Среди математических моделей, применяемых при изучении указанных движений растворимых веществ известна модель, основанная на законе Дарси, учитывающую пропорциональную зависимость скорости потока подвижной среды от градиента давления. В общем случае для неоднородных фильтрационных потоков предложено уравнение [1], [2], [3], называемое уравнением гидродинамической дисперсии или конвективной диффузии.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - U \frac{\partial C}{\partial x_i}, \quad (1)$$

В работе [4] это уравнение было записано в цилиндрической системе координат в безразмерных переменных, приведены различные частные случаи этого уравнения и получены их общие интегралы. В настоящей статье приведено решение краевой задачи для одного из этих уравнений

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = \frac{1}{\rho} \left(D_{ij} \frac{\partial^2 C}{\partial \rho^2} - \frac{\partial C}{\partial \rho} \right), \quad (2)$$

с периодическим краевым условием на одной из границ. Здесь $\tau = \frac{Qt}{2\pi Bna_1^2}$ – безразмерное время, t – время, Q и B – мощность и линейный размер источника осесимметричного течения, n – пористость среды, a_1 – продольная

дисперсионность, $\rho = \frac{r}{a_1}$ – безразмерная координата, r – пространственная координата – расстояние от источника фильтрационного течения.

Постановка задачи. Найти решение уравнения (2), удовлетворяющее краевым условиям

$$C(\rho_1, \tau) = A \cos \omega \tau, \quad (3)$$

$$C(\rho_2, \tau) = 0, \quad (4)$$

ω – круговая частота изменения концентрации (загрузки хранилища) на первой границе области, $\mu = \frac{2\pi Bna_1^2}{Q} \omega$ – приведенная (безразмерная) частота.

Решение получено методом разделения переменных в виде

$$C(\rho, \tau) = A e^{\frac{\rho - \rho_1}{2}} \operatorname{Re} \left[\sqrt{\frac{y}{y_1}} \frac{J_{-1/3}(x_2) J_{1/3}(x) - J_{1/3}(x_2) J_{-1/3}(x)}{J_{-1/3}(x_2) J_{1/3}(x_1) - J_{1/3}(x_2) J_{-1/3}(x_1)} e^{-i\mu\tau} \right], \quad (5)$$

$J_{\pm 1/3}(x)$ – функции Бесселя, $y = i\mu\rho - 0,25$, $x = \frac{2}{3i\mu} y^{3/2}$.

Решение (5) хотя и получено в замкнутом виде, однако громоздко для практических расчетов. Однако при исследовании некоторых гидрогеологических процессов, связанных с миграцией примесей (загрязнений) в радиальных фильтрационных потоках в случае периодической загрузки хранилища промышленных отходов с учетом вполне реальных значений параметров: $\tau = 1 \div 10$ сут., $B = 10$ м, $Q = 10 \frac{\text{м}^3}{\text{сут.}}$, $a_1 = 1 \cdot 10^{-3}$ м, $\rho_2 = 1 \cdot 10^4$, $\mu = 1 \cdot 10^{-8}$,

$|x| = 1 \cdot 10^8 \ll 1$ могут быть использованы асимптотические приближения для функций Бесселя, и тогда после несложных преобразований из (5) получим

$$C(\rho, \tau) = A e^{\frac{\rho - \rho_1}{2}} \operatorname{Re} \left[\left(\frac{y_1}{y} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{i\mu\rho_1 - 0,25}{i\mu\rho - 0,25} \right)^{\frac{1}{4}} \frac{\sin(x_2 - x)}{\sin(x_2 - x_1)} e^{-i\mu\tau} \right], \quad (6)$$

На рис.1 приведен пример построения графика функции (6) для значений параметров процесса, приведенных выше.

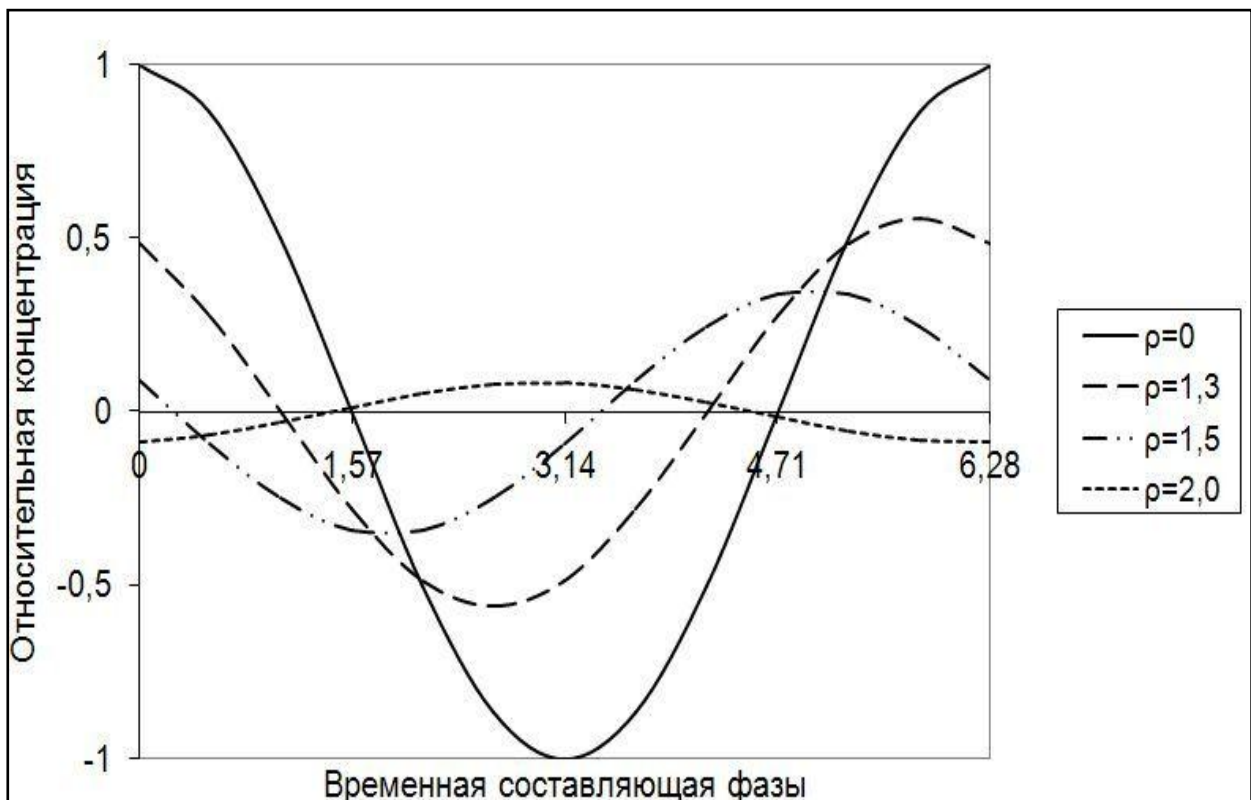


Рис.1. Зависимость относительной концентрации вещества от временной составляющей фазы в условиях периодически действующего источника.

Решение задачи позволяет прогнозировать амплитуду колебаний примеси от периодически действующего источника. Амплитуда колебаний зависит от периода загрузки хранилища – чем меньше период, тем меньше зона загрязнения. Выражение для сдвига фаз позволяет определить время запаздывания концентрации по мере удаления от источника. По измерениям относительного изменения концентрационной амплитуды в некоторой точке можно определить коэффициент продольной дисперсионности.

Литература

1. Scheidegger A.E. Statistical Hydrodynamics in porous media. J. Appl. Phys., 1954, v.25, №8, p.994-1001.
2. Бэр Я., Заславский Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. Москва, Мир, 1971, 451 с.
3. Куликов А.Н., Горбунов А.К., Овчаренко И.Н. Стационарная гидродинамическая дисперсия в многослойных пластах с растворимой подошвой. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Журнал научных публикаций, 2015, №04, с.17-19.
4. Куликов А.Н. Уравнение радиальной гидродинамической дисперсии и его общие интегралы. В кн.: Движение растворимых примесей в фильтрационных потоках. Тула, 1983, с.15-20.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Куликов Анатолий Николаевич - канд. физ.-мат. наук, доцент КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: ivk-60@mail.ru.

Овчаренко Игорь Николаевич – ассистент кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ino1963@yandex.ru.

Чухраева Анастасия Игоревна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К. Горбунов, Е.А. Коваленко, С.Ф. Цаплина, П.А. Зорина

О ПРОЦЕДУРАХ ОПТИМИЗАЦИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматриваются адаптивные постановки задач на основе избыточных наборов исходных данных.

Приводятся адаптивные постановки двух задач долгосрочного планирования научных исследований и разработок и принципы построения диалоговых процедур их решения.

Адаптивные постановки задач на основе избыточных переменных.

Можно выделить два подхода к формальным постановкам задач: априорный и адаптивный. Первый подход предлагает последовательное выполнение следующих четырех фаз:

- общая формулировка задачи;
- разработка алгоритма ее решения;
- конкретная формулировка задачи, включающая определение количества и задание численных значений исходных данных;
- реализация алгоритма решения.

Второй подход, связанный с диалоговыми процедурами, ориентирован на последовательное уточнение формулировки задачи и задание численных значений исходных данных по мере реализации некоторого последовательно уточняемого алгоритма. Принципиальным преимуществом второго подхода является возможность учета при формулировке задачи дополнительной информации: состава и конкретных значений исходных данных. В ряде приложений адаптивная постановка задач является единственно возможной. В некоторых случаях адаптивная постановка позволяет уменьшить требуемое количество исходных данных. По мере увеличения быстродействия ЭВМ количество требуемых исходных данных (определение которых в отличие от реализации алгоритма обычно связано с неформальными процедурами) все в большей степени определяет затраты на решение и в некоторых случаях может ограничивать допустимую размерность задач.

Одна из возможных схем адаптивных постановок задач заключается в априорной формулировке задачи с избыточным набором исходных данных A , включающем два подмножества:

- подмножество исходных данных A_1 , для которых априорно задаются численные значения.
- подмножество исходных данных A_2 , для части из которых – подмножества $A_2' \subset A_2$, итеративно формируемого в процессе решения задачи, численные значения также определяются в процессе решения.

Ниже рассматриваются адаптивные постановки двух задач долгосрочного планирования научных исследований и разработок, для которого характерна достаточная сложность получения количественных оценок.

Задача выбора наиболее предпочтительного перечня проектов, зависящих по предпочтению.

При программно-целевом планировании научных исследований и разработок, проектировании объектов многоцелевого назначения и в ряде других приложений встает задача выбора наиболее предпочтительного набора проектов при отсутствии формального задания целевой функции. Рассмотрим следующую адаптивную постановку данной задачи.

В качестве основных объектов будем рассматривать множество L проектов $l \in L$, выполнение каждого из которых дает определенный положительный эффект (полезность) и множество U их всех возможных наборов $u \in U$, реализуемых располагаемым ресурсом B - множество субнаборов. При этом значительная часть проектов $l \in L$ зависит по предпочтению. Вводятся следующие ограничения.

На множестве \tilde{U} всех возможных наборов проектов, в том числе и на его подмножестве $U \subset \tilde{U}$ существуют, но априори неизвестны функция полезности и соответствующее ей отношение совершенного строгого порядка, которое вместе с тем может быть выявлено ЛПР для любой пары субнаборов.

Множество L может быть разбито на два непересекающихся подмножества - ω_0 (ствол) и - λ_0 (крона), $L = \omega_0 \cup \lambda_0$, для которого выполняются следующие условия: а) $\omega_0 \in U$; б) существует формальная процедура η , обеспечивающая определение наиболее предпочтительной замены произвольного набора $U \subset \omega_0$ поднабором $\lambda[U] \subset \lambda_0$. При этом допускается зависимость по предпочтению проектов $l \in \omega_0$ (между собой) и зависимость между проектами $l' \in \lambda_0$ и наборами $\theta \subset \omega_0$.

Для группы S – первых по предпочтению субнаборов из множества U_0 субнаборов $u \subset U_0$ с наиболее предпочтительными заменами известны вероятности P_i выполнения следующего условия: для субнабора $u[U]$ выполняется условие μ , если для любого $U' \subset U$ выполнено $u[U] \succ \omega_0$, где $u[U] = (\omega_0 \setminus U) \cup \lambda[U]$ (события μ для субнаборов $u_i (i = \overline{1, S})$ предполагаются статистически независимыми).

Требуется определить субнабор, который бы с вероятностью

$$P = 1 - \prod_{i=1}^S (1 - P_i)$$

входил в группу d – первых по предпочтению субнаборов из множества U_0 субнаборов с наиболее предпочтительными заменами при минимальном числе субнаборов представляемых ЛПР. (В данной постановке задачи в качестве элементов подмножества A_2 рассматриваются предпочтения ЛПР на каждой паре субнаборов с наиболее предпочтительными заменами.)

Можно показать, что решение данной задачи может быть получено на основе следующей формально процедуры представления субнаборов ЛПР. ЛПР последовательно представляются все субнаборы с наиболее предпочтительной заменой одного проекта l ствола ω_0 (1 группа замен), при этом выявляются субнаборы $u[U]$ ($u[U] \in C(1, k)$), такие, что $u[U] \prec \omega_0$ и текущий наиболее предпочтительный субнабор u_t^0 . Далее ЛПР представляются субнаборы второй группы замен с заменами в стволе ω_0 двух проектов и т. д., вплоть до k -й группы замен, где k – число проектов ω_0 . При этом в каждой группе замен j ЛПР не представляется любой субнабор $u[U_j] \in \bar{C}(k, j)$ -такой, что $U_q^- < U_j (q < j)$ и $u[U_q] \prec \omega_0$. Последний текущий наиболее предпочтительный субнабор u_t рассматривается как наиболее предпочтительный.

3. Задача долгосрочного планирования исследований и разработок.

Рассмотрим следующую постановку задачи долгосрочного планирования научных исследований и разработок.

Минимизировать функцию потерь

$$L = \sum_{t=r+1}^n C_i \sum_{\theta=t-\tau_i+1}^{\varphi} z_{i\theta} (\theta - t_i + \tau_i) + \sum_{i=r+1}^n k_i \bar{x}_i + \sum_{i=r+1}^n v_i y_i$$

при ограничениях

$$\sum_{\theta=1}^{\varphi} z_{i\theta} + x_i + y_i = 1, \quad i = \overline{1, n},$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{\theta=\max\{1, \theta_0-\tau_i+1\}}^{\theta_0} z_{i\theta} Q_{ij} (\theta_0 - \theta + 1) \leq Q_j, \quad j = \overline{1, P}; \theta_0 = \overline{1, \varphi},$$

$$\sum_{i=1}^n S_i \bar{x}_i \leq S,$$

$$z_{i\theta} = 0 \text{ при } \theta \leq t_{ki}; i = \overline{1, n}$$

$$z_{i\theta} = 0 \text{ при } \theta > t_i - \tau_i; i = \overline{1, r}.$$

Здесь $z_{i\theta} = 1$, если тема выполняется собственными мощностями и начинается в момент, $z_{i\theta} = 0$ - в противном случае; $x_i = 1$, если тема выполняется сторонними исполнителями, $x_i = 0$ - в противном случае; $y_i = 1$, если тема не выполняется в плановом периоде, $y_i = 0$ - в противном случае; r – число тем директивно включенных в план; n – количество всех тем; φ - период планирования; θ, θ_0 - обозначение единичных интервалов времени; Q_j - располагаемые мощности j -го типа; τ_i - длительность вы-

полнения темы; C_i - потери от задержки выполнения темы на единицу времени по сравнению с директивным сроком t_i ; k_i - потери при передаче темы i сторонним исполнителям; v_i - потери при включении темы i из плана; P - количество типов мощностей; $Q_{ij\theta}$ - потребность темы i на интервале θ в мощностях типа j ; S_i - стоимость выполнения темы сторонними исполнителями; S - объем финансирования сторонних исполнителей тем; t_{ki} - наиболее ранний допустимый срок начала темы.

Необходимо отметить, что априорное задание весовых коэффициентов C_i, k_i, v_i может рассматриваться лишь как приближенное задание целевой функции. В связи с этим предлагается итерационное уточнение данных коэффициентов (и, соответственно, целевой функции) в процессе выполнения диалоговой процедуры оптимизации плана исследований и разработок.

На шаге 1 итерации q производится анализ плана G_{q-1}^0 , полученного на итерации $q-1$, при этом определяются темы, планирование которых рассматривается ЛПР как неудовлетворительное. Для данных тем устанавливаются приращения соответствующих весов и определяется новый план G_q^1 . Если план G_q^1 хуже плана G_{q-1}^0 , то переходят к шагу 2 итерации q с меньшим приращением весов. Полученный план G_q^2 сравнивается с планом G_{q-1}^0 и если G_q^2 хуже G_{q-1}^0 , то переходят к шагу 3 и т.д. до тех пор, пока либо будет иметь место G_q^k лучше G_{q-1}^0 (и тогда будет осуществлен переход к итерации $q+1$, где $G_q^0 = G_q^k$), либо будут опять установлены начальные веса, которым соответствует план G_{q-1}^0 . При этом план G_{q-1}^0 рассматривается как наиболее предпочтительный.

Литература

1. R.L.Dobrushin, B.S.Trybakov. Information transmission with additional noise. IRE Tr. Inform. Theory, vol.IT-18, pp.293-304, 2002

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Коваленко Елизавета Александровна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: www.yoursmile@yandex.ru.

Цаплина Светлана Федоровна – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: caplina.svetlana@bk.ru.

Зорина Полина Алексеевна - Студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zorina_p_a@mail.ru.

А.К. Горбунов, Р.Р. Байманов

О ТЕОРИИ КВАЗИИЗМЕРЕНИЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Разрабатываемая в настоящее время теория квазиизмерений, охватывающие описанием произвольные рандомизированный измерения, позволяет строить квантостатическую теорию связи, удовлетворяющую принципу соответствия. Совместное квазиизмерения произвольно наблюдаемых $\alpha = \{\alpha_j, j = 1, \dots, r\}$ описывается операторной вероятной мерой $\Pi(d\alpha)$, задающей не обязательно ортогональное положение единицы $\hat{1}$ алгебры операторов в гильбертовом пространстве H : $\int \Pi(d\alpha) = \hat{1}$ (интегрирование ведётся по всему спектру $\alpha \in \{\alpha_j\}$ операторов $\{a_j\}$). Распределение вероятностей $P(da)$ результатов квазиизмерений в состоянии, задаваемом статическим оператором ρ , определяется так же, как и в случае измерений по Фон Нейману:

$$P(da) = \text{Tr} \Pi(da) \rho = M[\Pi(da)]. (1)$$

В дальнейшем будем считать операторную меру $\Pi(da)$ абсолютно непрерывной относительно некоторой числовой меры μ на a , и задавать ее в виде

$$\Pi(da) = A(a)A^*(a)\mu(da),$$

явно учитывающем её неотрицательную определённость. Здесь $\{A(\alpha), \alpha \in a\}$ - набор неэрмитовых ($A^* \neq A$) операторов, действующих из некоторого пространства \tilde{H} в исходном H , удовлетворяющих условию нормированности $\text{Tr} A^*(\alpha)A(\alpha) = 1$ и полноты:

$$\int A(\alpha)A^*(\alpha)\mu(da) = \hat{1}. (3)$$

Пусть имеется семейство статических операторов $\{\rho(\vartheta)\}$, определяющих состояния квантового канала связи, зависящего от информационных параметров $\vartheta = \{\vartheta_j\}$, и задано распределение вероятностей $P(d\vartheta)$ на $\vartheta \in \vartheta$.

Теорема. Оптимальное квазиизмерение, максимизирующее информационное количество $J_{d,\vartheta}$, задается семейством $\{A^0(\alpha), \alpha \in a\}$, удовлетворяющим почти всюду на a , уравнению

$$(I(\alpha) - \Lambda)A(\alpha) = 0, (4)$$

где

$$I(\alpha) = \int \rho(\vartheta) \ln[\text{Tr} A^*(\alpha)\rho(\vartheta)A(\alpha) / \int \text{Tr} A^*(\alpha)\rho(\vartheta)A(\alpha)P(d\vartheta)] P(d\vartheta), \\ \Lambda = \int I(\alpha)A(\alpha)A^*(\alpha)\mu(d\alpha). (5)$$

Доказательство проводится методом Лагранжа: максимизируемый функционал

$$J_{d,\vartheta} = \int \int \rho(d/\vartheta) \ln[\rho(d/\vartheta)P(d\vartheta)]\mu(d\alpha)P(d\vartheta)$$

Вследствие простой зависимости $\rho(d/\vartheta) = \text{Tr} A^*(\alpha)\rho(\alpha)A(\alpha)$ условной плотности вероятности $\rho(d/\vartheta) = P(d\alpha/\vartheta)/\mu(d\alpha)$ от

$J_{d,\vartheta} + \int \text{Tr} A^*(\alpha) \Lambda(\alpha) \mu(d\alpha)$ по A^* нулю, получим, что условие стационарности $\delta J_{d,\vartheta} = 0$ вместе с (3) эквивалентно почти всюду по μ на уравнению (4)

Пусть состояние бозонного линейного канала при фиксированном комплексном векторе $\vartheta = \{\vartheta_{j,j=1,\dots,r}\} \in C_r$ считается гауссовским, и задается статическим оператором, имеющим в глауберовском представлении вид: $\rho(\vartheta) = \int |\alpha\rangle \langle \alpha| |N|^{-1} \exp\{-(d - \vartheta)\} d\mu(\alpha)$.

Здесь $|\alpha\rangle$ - когерентный вектор $|N|$ -детерминант нормально упорядоченной корреляционной матрицы N , а $d\mu(\alpha) = \prod_{j=1}^r \frac{1}{\pi} d\text{Re} d_j d\text{Im} d_j$ (6)-дифференциал в лебеговской мере на комплексном r -мерном пространстве $C_r \ni \alpha = \{d_j\}$. Источник сообщений ϑ также будем считать гауссовским, характеризуемым распределением вероятностей

$$P(d\vartheta) = |S^{-1}| \exp\{-\vartheta^+ S^{-1} \vartheta\} d\mu(\vartheta)$$

Путем не сложных, но трудоемких вычислений можно показать что в рассматриваемом случае уравнению (4) удовлетворяют операторы $A^0(\alpha)$ из $\tilde{H} = C_1$ в H , совпадающие с когерентными векторами:

$$A^0(\alpha) = |a\rangle = \exp\left\{-\frac{1}{2} \alpha^+ \alpha + a^+ \alpha\right\} |0\rangle \quad (7)$$

Здесь $a^+ = (a^+, \dots, a_r^+)$ -вектор-строка, составленная из операторов рождения бозон, а $|0\rangle$ - вакуум вектора. Семейство $\{|\alpha\rangle, \alpha \in C_r\}$ векторов (7) является нормированным: $\langle \alpha | \alpha \rangle = 1$ и задает не ортогональное разложение единицы (3) относительно меры (6).

Когерентное квазиизмерение реализуется косвенным линейным идеальным измерением повторно коммутирующих $\{a_j\}$. Последнее сводится к прямому измерению совместимых наблюдаемых

$$\hat{\alpha} = a \otimes 1_0 + \widehat{1} \otimes a_0$$

расширенной алгебры операторов $\{a, a_0\}$ на тензорном произведении $H \otimes H_0$, где $a_0 = \{\alpha_j, j = 1, \dots, r\}$ - операторы рождения $b^* \equiv a_0$ бозонов некоторой независимой вспомогательной системы, находящейся в вакуумном состоянии $|0\rangle \in H_0$. Действительно, нетрудно проверить, что векторы

$$\Psi_\alpha = \exp\{-(a - \alpha)^+ a_0\} |a\rangle \otimes |0\rangle \in H \otimes H_0$$

образует с мерой (6) ортогональный проектор $\Psi_\alpha \Psi_\alpha^* d\mu(\alpha)$ на собственное подпространство $H_{d\alpha}$ операторов (8), и их проекции $|0\rangle \langle 0| \Psi_\alpha$ в исходном пространстве H являются когерентными векторами (7).

Учитывая, что сумма (8) гауссовских независимых векторов

$$a \text{ и } a_0 = b^*,$$

имеющих корреляционную матрицу $M[a^* a^T] = S + N$, $0 \langle 0| b^+ |0\rangle_0 = 1$ является гауссовским вектором, максимальное количество информации J^0 , декодируем в гауссовском бозонном канале, можно определить с помощью матричной формулы Шеннона

$$J^0 = \ln |S + N| / |N + 1(N + 1)| = \text{Sp} \ln(1 + S(N + 1)^{-1})$$

дающей количеством информации связи гауссовских образующих $\{\vartheta_j\}$ и $\{d_j\}$ абелевой алгебры входа и выхода бозонного канала связи.

Литература

1. P.A.Benioff. Decision Procedure in Quantum Mechanics J. Math. Phys. 73, M 6, 2012, 909-917

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Байманов Роман Русланович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sufirt2@yandex.ru.

И.Р. Бережанский, А.К. Горбунов

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ПОМЕХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Теория асимптотически оптимальных алгоритмов обнаружения на фоне помех распространяется на случай, когда выборочные данные квантованы. Рассматривается асимптотическая мощность и питменовская эффективность таких алгоритмов. Определяется два критерия оптимальности выбора порогов квантования, для которых приводятся соответствующие уравнения.

1. Пусть $\vec{x}_n = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$ - выборка с плотностью $f(\vec{x}_n / \lambda \vec{S}_n) = \prod_{i=1}^n f(x_i / \lambda S_i)$, где $x \in R_1$, $S_i, i = \overline{1, n}$ - компоненты вектора сигнала \vec{S}_n и λ - амплитуда сигнала. Задача состоит в построении асимптотически оптимального (А.О.) алгоритма для проверки гипотезы $H_0: \lambda = 0$ против гипотезы $H_1: \lambda > 0$ по квантованным наблюдениям, т.е. когда выборка имеет вид

$(E_{k_1}, \dots, E_{k_i}, \dots, E_{k_n})$, где $k_i = \sum_{k=0}^m k \chi_k(x_i)$ ($\chi_k(x)$ - индикатор множества E_k) и $E_k = [Z_k, Z_{k+1}]$; $\bigcup_{k=0}^m E_k = R_1$ и $E_k \cap E_j = \emptyset$ для всех $k \neq j$, $k, j = \overline{0, m}$. Разбиение $\{E_k\}$, $k = \overline{0, m}$ определяется вектором $\vec{Z}_m \in G_m$, где $G_m = \{\vec{Z}_m : Z_0 \leq Z_1 \leq \dots \leq Z_{m+1}\}$, $Z_0 = -\infty$ и $Z_{m+1} = +\infty$.

Метод построения А.О. алгоритмов основан на асимптотическом разложении логарифма отношения правдоподобия для задачи "близких" гипотез, т.е. когда $\lambda = \gamma / \sqrt{n}$, где $\gamma \in [0, l]$ и l - любое число.

2. Скажем, что выполнено условие А, если

$$\max_{1 \leq i \leq n} |S_i| \leq k < \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i^2 = S_i^2 < \infty; \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{\max_{1 \leq i \leq n} S_i^2} = \infty;$$

и условие В, если в некоторой окрестности W точки $\theta = 0$

$$f(x/\theta) > 0$$

для каждого $\theta \in W$ и $x \in R_1$,

$f(x/\theta)$ дважды дифференцируема по θ для каждого $\theta \in W$ и $x \in R_1$, причем

$$\left| \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} f(x/\theta) \right| < H(x), \quad \theta \in W, \quad \int_{-\infty}^{+\infty} H(x) dx < \infty,$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \int_{Z_k}^{Z_{k+1}} f(x/0) dx = \int_k^{Z_{k+1}} \frac{\partial}{\partial \theta} f(x/0) dx$$

для каждого $\bar{Z}_m \in G_m$ $(\frac{\partial}{\partial \theta} f(x/0)|_{\theta=0} = \frac{\partial}{\partial \theta} f(x/0))$,
 $0 < I(0) < \infty$,

где $I(0)$ - информация Фишера в точке $\theta = 0$.

Введем следующие обозначения: $I(\bar{Z}_m; 0)$ - информация в Фишера в точке $\theta = 0$, когда выборочные значения квантованны; $M_0\{\cdot\}$ и $M_{\gamma/\sqrt{n}}\{\cdot\}$ - математическое ожидание при гипотезах H_0 и H_1 соответственно и $\frac{\partial}{\partial \theta} \ln f(x/0) = g(x)$.

Лемма 1. В условии В $I(0) - I(\bar{Z}_m; 0) \geq 0$ для всех $\bar{Z}_m \in G_m$ с равенством тогда и только тогда, когда $g(x) = C_k$ для всех $x \in E_k, k = \bar{0}, m$.

Теорема 1. Если \bar{Z}_m - внутренняя точка G_m и выполнены все условия А, В, то логарифм отношения правдоподобия $L(\bar{x}_n; \gamma \bar{S}_n / \sqrt{n})$ допускает следующее асимптотическое представление:

$$L(\bar{x}_n; \gamma \bar{S}_n / \sqrt{n}) = \frac{\gamma}{\sqrt{n}} \sum_{i=1}^n S_i \sum_{k=0}^m a_k \chi_k(x_i) - \frac{1}{2} \gamma^2 S^2 I(\bar{Z}_m; 0) + \alpha_n(\bar{x}_n; \gamma \bar{S}_n / \sqrt{n}),$$

где $a_k = M_0\{g(x) / x \in E_k\}$ и $\alpha_n(\bar{x}_n; \gamma \bar{S}_n / \sqrt{n}) \rightarrow 0$ по вероятности при $n \rightarrow \infty$ как при гипотезе H_0 , так и при гипотезе H_1 равномерно по $\gamma \in [0, l]$.

Теорема 2. В условиях теоремы 1 А. О. алгоритм асимптотического уровня значимости α имеет вид:

$$\phi_n^\alpha(\bar{Z}_m) = \begin{cases} 1, & \text{если } Y_n(\bar{x}_n) \geq k_{1-\alpha} SI^{\frac{1}{2}}(\bar{Z}_m; 0) \\ 0, & \text{если } Y_n(\bar{x}_n) < k_{1-\alpha} SI^{\frac{1}{2}}(\bar{Z}_m; 0) \end{cases},$$

где $k_{1-\alpha} - (1-\alpha)$ -квантиль стандартного нормального распределения и $Y_n(\bar{x}_n) = n^{-\frac{1}{2}} \sum_{i=1}^n S_i \sum_{k=0}^m a_k \chi_k(x_i)$.

Следствие 2.1. Асимптотическая мощность А. О. алгоритма $\phi_n^\alpha(\bar{Z}_m)$ равна:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} M_{\gamma/\sqrt{n}} \left\{ \phi_n^\alpha(\bar{Z}_m) \right\} = 1 - F(k_{1-\alpha} - \gamma SI^{\frac{1}{2}}(\bar{Z}_m; 0)) \quad (1)$$

где $F(u)$ - функция стандартного нормального распределения. Питменовский коэффициент асимптотической относительной эффективности

А. О. алгоритмов $\phi_n(\bar{Z}_m)$ и ϕ_n (А. О. алгоритм для неквантованных наблюдений) равен:

$$\rho(\{\phi_n(\bar{Z}_m)\}; \{\phi_n\}) = I(\bar{Z}_m; 0) / I(0). \quad (2)$$

Алгоритм $\phi_n(\overline{Z_m})$ является равномерно асимптотически оптимальным:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \inf_{\gamma \leq l} [M_{\gamma/\sqrt{n}} \{ \phi_n^\alpha(\overline{Z_m}) \} - M_{\gamma/\sqrt{n}} \{ \psi_n^\alpha(\overline{Z_m}) \}] \geq 0,$$

где $\psi_n^\alpha(\overline{Z_m})$ - любой другой алгоритм асимптотического уровня значимости α при разбиении $\overline{Z_m}$.

3. Согласно лемме 1, А.О. алгоритм $\phi_n(\overline{Z_m})$, вообще говоря, проигрывает как в асимптотической мощности, так и в питменовской эффективности А.О. алгоритму ϕ_n . При этом естественно возникает задача оптимального выбора порогов квантования.

Определение 1. При фиксированном m разбиение $\overline{Z_m^o}$ называется оптимальным, если

$$I(\overline{Z_m^o}; 0) = \sup_{\overline{Z_m} \in G_m} I(\overline{Z_m}; 0).$$

Теорема 3. В условии В $\overline{Z_m^o}$ существует и является внутренней точкой G_m .

Следствие 3.1. Оптимальное разбиение $\overline{Z_m^o}$ удовлетворяет системе уравнений:

$$(a_k - a_{k-1})(a_k + a_{k-1} - 2g(Z_k)) = 0, \quad k = \overline{1, m} \quad (3)$$

И если $g(x)$ - строго монотонная функция на R_1 , то (3) эквивалентно системе уравнений:

$$a_k + a_{k-1} - 2g(Z_k) = 0, \quad k = \overline{1, m} \quad (4)$$

Можно указать класс распределений, для которых (3) - необходимое и достаточное условие максимума $I(\overline{Z_m}; 0)$ и решение единственно. Необходимо заметить, что решение системы (3), равно как и (4), в подавляющем большинстве случаев возможно только численными методами. Поэтому представляет интерес построение разбиений $\overline{Z_m}$ в некотором смысле близких к оптимальному.

Определение 2. Последовательность разбиений $\{\overline{Z_m^*}\}$ называется асимптотически оптимальной, если

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \frac{I(O) - I(\overline{Z_m^*}; O)}{I(O) - I(\overline{Z_m^*}; O)} = 1$$

При некоторых (не ограниченных с практической точки зрения) условиях $\overline{Z_m^*}$ удовлетворяет системе уравнений:

$$\int_{-\infty}^{Z_k^*} \tau(x) dx = \frac{k\tau}{m+1}; \quad k = \overline{1, m}; \quad \tau(x) = \left[(g'(x))^2 f(x/O) \right]^{1/3} \tau = \int_{-\infty}^{+L} \tau(x) dx,$$

и питменовский коэффициент асимптотической эффективности (2) для $\overline{Z_m^*}$ определяется выражением:

$$\rho(\{\phi_n(\overline{Z_m^*})\}; \{\phi_n\}) = 1 - \frac{\tau^3}{12(m+1)^2 I(O)} + O\left(\frac{1}{m^2}\right).$$

Например, для распределения Райса:

$$f(x/\theta, \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{x^2 + \theta}{2\sigma^2}\right\} I_0\left(\frac{x\sqrt{\theta}}{\sigma^2}\right), \quad x \geq 0, \quad \sigma > 0,$$

асимптотически оптимальное разбиение $\overline{Z_m^*}$ имеет следующий вид:

$$\overline{Z_m^*} = \sigma \overline{t_m^*}; \quad \overline{t_m^*} = \sqrt{\sigma \ln \frac{m+1}{m-k+1}}, \quad k = \overline{1, m}, \quad t = 0, \quad t_{m+1} = +\infty,$$

$$\rho(\{\phi_n(\overline{Z_m^*})\}; \{\phi_n\}) = 1 - \frac{2,25}{(m+1)^2} + O\left(\frac{1}{m^2}\right).$$

Литература

1. Р.Г. Галлагер. Коды с малой плотностью проверок на четность. "Мир", 2000.

Бережанский Иван Романович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: berezhanskiy.ivan@mail.ru.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

К.А. Хатамова, А.К. Горбунов

ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ ШУМА С НЕЗАВИСИМЫМИ ЗНАЧЕНИЯМИ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Прямым способом выводятся общие алгоритмы для отношения правдоподобия в задаче обнаружения немарковских сигналов на фоне немарковских помех при наличии шума с независимыми значениями. Получены алгоритмы для случая слабых сигналов. Выясняются свойства входных блоков обнаружителей.

1. Рассматривается вначале случай дискретного времени, когда наблюдаемый процесс равен

$$y_k = \theta S(x_k, t_k) + \eta_k + \xi_k, \quad \theta = 0, 1, \quad k = 0, 1, \dots, n.$$

Параметр $\{x_k\}$ полезного сигнала $S(x_k, t_k)$ (S -известная функция) и помеха являются $\{\eta_k\}$ произвольными немарковскими случайными последовательностями. Кроме коррелированной помехи $\{\eta_k\}$ на сигнал воздействует шум $\{\xi_k\}$ – случайный процесс с независимыми значениями, описываемый плотностью вероятностей ρ . Предполагается, что шум $\{\xi_k\}$ статистически не зависит от процессов $\{x_k\}$ и $\{\eta_k\}$. Между собой сигнал и помеха могут быть статистически зависимыми. Предполагается также, что

$$M\varphi_1(x_k, \eta_k) < \infty, \quad M\varphi_0(\eta_k) < \infty, \quad k = 0, 1, \dots, n,$$

где $\varphi_0 = \rho[y_k - \theta S(x_k, t_k) - \eta_k]$.

При этих условиях получаем для отношения правдоподобия

$$\Lambda_k = \frac{\rho(y_k / \theta = 1)}{\rho(y_k / \theta = 0)}$$

рекуррентный алгоритм

$$\Lambda_k = \Lambda_{k-1} \frac{M_1 \rho[y_k - S(x_k, t_k) - \eta_k]}{M_0 \rho[y_k - \eta_k]}, \quad k = 0, 1, \dots, n, \quad \Lambda_0 = \frac{\rho(y_0 / \theta = 1)}{\rho(y_0 / \theta = 0)}, \quad (1)$$

где M_1 и M_0 – условные математические ожидания:

$$M_\theta(\cdot) = \begin{cases} \iiint (\cdot) P(x_k, \eta_k / y_0^{k-1}, \theta = 1) dx_k d\eta_k \\ \int (\cdot) P(\eta_k / y_0^{k-1}, \theta = 0) d\eta_k \end{cases}$$

2. Рассматривая случай слабых детерминированных сигналов ($S \rightarrow 0$), из (1) в асимптотике для $Z_k = C_n \Lambda_k$ получим

$$Z_k = Z_{k-1} + S(t_k) f[y_k - \hat{\eta}_{0k}(y_0^{k-1})], \quad (2)$$

где обозначено

$$f(x) = -\frac{d}{dx} \ln \rho(x), \quad \hat{\eta}_{0k}(y_0^{k-1}) = M(\eta_k / y_0^{k-1}, \theta = 0).$$

Используя свойства условного математического ожидания, можно показать, что при $y_i = \eta_i + \xi_i$, $M\xi_i = 0$, $i = 0, 1, \dots$, справедливо соотношение

$$M[y_i - \hat{\eta}_{oi}(y_o^{i-1})][y_j - \hat{\eta}_{oj}(y_o^{j-1})] = 0 \quad \text{для всех } i \neq j.$$

Таким образом, входное устройство обнаружителя слабых сигналов, вычисляющее разность $y_k - \hat{\eta}_{ok}(y_o^{k-1})$, представляем собой декоррелирующий фильтр. После него следует безынерционный нелинейный преобразователь $f(x)$, а затем обычный корреляционный приемник.

3. При непрерывном времени на параметр $\{x_t\}$ сигнала $S(x, t)$ и помеху $\{\eta_t\}$ никаких особых ограничений не накладывается (как и при дискретном времени). Они могут быть немарковскими и негауссовскими процессами, причем статистически зависимыми между собой. Что же касается шума $\{\xi_t\}$, то здесь он предполагается белым гауссовским шумом (спектральная плотность равна N).

Конкретизируя ρ в (1) и осуществляя затем предельный переход, получим алгоритм для логарифма отношения правдоподобия $Z_t, 0 \leq t \leq T$

$$Z_T = \frac{1}{N} \int_0^T (\hat{S}_t + \hat{\eta}_{it} - \hat{\eta}_{ot}) y_t dt - \frac{1}{2N} \int_0^T [(\hat{S}_t + \hat{\eta}_{it})^2 - \hat{\eta}_{ot}^2] dt, \quad (3)$$

где $\hat{S}_t = M[S(x, t) / y_o^t, \theta = 1]$, $\hat{\eta}_{it} = M(\eta_t / y_o^t, \theta = i), i = 0, 1$, а стохастический интеграл понимается в смысле Ито.

4. В случае слабых детерминированных сигналов на (3) (или на (2) после конкретизации ρ) вытекает алгоритм

$$Z_t = \frac{1}{N} \int_0^t S(t)(y_t - \hat{\eta}_{ot}) dt,$$

определяющий структуру асимптотически оптимального обнаружителя. При несущественных с точки зрения практики ограничениях на произвольную помеху $\{\eta_t\}$

$$\int_0^T M / \eta_t / dt < \infty$$

процесс $\tilde{\xi}_t = y_t - \hat{\eta}_{ot}$ (при $y_t = \eta_t + \xi_t$) является белым гауссовским шумом. Таким образом, рассматриваемый обнаружитель представляет собой корреляционный приемник, на входе которого стоит обеляющий фильтр.

5. Процедура обеления помехи, наличие на входе устройства обнаружения обеляющего фильтра имеют место и без требования малости сигнала. Рассмотрим вначале случай обнаружения детерминированного сигнала $S(t)$ в гауссовской помехе (с произвольной корреляционной функцией) при наличии белого шума. В этом случае

$$\hat{\eta}_{it}(y_o^t) = \hat{\eta}_{ot}(y_o^t - S_o^t) = \hat{\eta}_{ot}(y_o^t) - \hat{\eta}_{ot}(S_o^t). \quad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим алгоритм

$$Z_T = \frac{1}{N} \int_0^T \tilde{S}_t \tilde{y}_t dt - \frac{1}{2N} \int_0^T \tilde{S}_t^2 dt,$$

$$\tilde{S}_t = S(t) - \hat{\eta}_{st}(S_0^t), \tilde{y}_t = y_t - \hat{\eta}_{st}(y_0^t), \quad (5)$$

определяющий оптимальный обнаружитель детерминированного сигнала $\tilde{S}(t)$ в белом шуме.

6. Преобразуя ⁽³⁾ применительно к общей задаче, приходим к формуле (5), при этом функционал \tilde{S}_t будет уже случайным

$$\tilde{S}_t(y_0^t) = \hat{S}_t(y_0^t) + \hat{\eta}_{1t}(y_0^t) - \hat{\eta}_{st}(y_0^t), \quad \tilde{y}_t = y_t - \hat{\eta}_{st}(y_0^t).$$

7. Необходимость использования декоррелирующих и обеляющих фильтров и сама структура обнаружителей непосредственно следует из рассматриваемого метода, причем привлекать искусственные приемы здесь не потребовалось. В частности, не понадобилось искусственно вводить в схему обработки сигналов обеляющий фильтр.

Литература

1. Р.Ш. Липцер, А.Н. Ширяев, Статистика случайных процессов, М., Наука, 1991.

Хатамова Камила Алишеровна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kamillacher2014@gmail.com.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Н.А.Силаева, О.П.Петросян, А.О. Кулюкина, А.И.Чухраева

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РЕАГЕНТА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Все технологические схемы очистки и обеззараживания воды (старые и новые) должны опираться на основные критерии, предъявляемые к качеству питьевой воды: питьевая вода должна быть безопасна в эпидемиологическом отношении, безвредна по химическому составу, и обладать благоприятными органолептическими (вкусовыми) свойствами. Эти критерии лежат в основе нормативных актов России (СанПиН 2.14.1074-01). Причем эти документы учитывают тот факт, что опасность заболеваний человека от микробиологического загрязнения воды во много тысяч раз выше, чем при загрязнении воды химическими соединениями различной природы.

Обеззараживание воды осуществляется при помощи добавления в воду различных химических веществ или проведения специальных мероприятий. Минздравом разрешено применение более 200 средств для дезинфекции и стерилизации. Однако рассматривать их все нет необходимости, так как многие из них по тем или иным причинам не применимы для водоснабжения. Остановимся только на основных, применяемых в России и за рубежом.

Вода – это прекрасная среда для размножения огромного количества различных микроорганизмов, являющиеся причиной очень серьезных болезней, например, тифа, дизентерии, холеры, вирусного гепатита, полиомиелита, менингита, сибирской язвы и т.д. Чаще всего такими микроорганизмами «богаты» сточные воды (канализация). Чтобы определить, не попали ли в источник воды канализационные стоки, воду исследуют на наличие бактерии кишечная палочка (E.Coli). Ее избыточное присутствие в образце воды (так называемый Coli-индекс) – доказательство загрязненности этой воды сточными водами.

Кроме того, источником биологического загрязнения водопроводной системы как поверхностных, так и подземных вод могут быть организмы, проникающие из грунта или воздушным путем в резервуары (в виде яиц, цист, спор) вследствие их неполной герметичности или попадающие в питьевую воду при авариях, ремонтных работах на водопроводных системах.

В результате жизнедеятельности и отмирания организмов качество питьевой воды ухудшается: повышаются мутность, цветность, содержание продуктов биокоррозии, ухудшаются органолептические, санитарно-бактериологические и гидробиологические показатели.

При их оценке способов обеззараживания воды нужно учитывать следующее:

Необходимо уничтожать все виды болезнетворных организмов в любых количествах, в которых они могут присутствовать в воде;

Уничтожать все болезнетворные организмы необходимо за промежуток времени, отведенного на обеззараживание;

Обеззараживание должно осуществляться независимо от изменений в составе воды;

Способ обеззараживания должен работать во всем диапазоне температур, которые может иметь вода;

Способ обеззараживания воды должен быть безопасным для человека;

Способ обеззараживания должен обеспечивать остаточную защиту от повторного загрязнения;

Способ обеззараживания не должен делать воду невкусной;

Способ обеззараживания должен быть максимально простым и недорогим в использовании;

Наиболее распространенные способы: ультрафиолетовое облучение, озонирование и хлорирование. Менее распространены – обработка йодом, серебром.

В существующей практике обеззараживания питьевой воды хлорирование используется наиболее часто. Такая популярность хлорирования связана и с тем, что это единственный способ, обеспечивающий микробиологическую безопасность воды в любой точке распределительной сети в любой момент времени благодаря эффекту последействия, т.е. обеспечивается защита от повторного загрязнения. Этот эффект заключается в том, что после совершения действия по внедрению молекул хлора в воду («последействие») последние сохраняют свою активность по отношению к микробам и угнетают их ферментные системы на всем пути следования с водой по водопроводным сетям от объекта водоподготовки до каждого потребителя. Подчеркнем, что эффект последействия присущ только хлорсодержащим реагентам. Все остальные методы обеззараживания воды, в том числе и промышленно применяемые в настоящее время озонирование, и УФ-облучение не обеспечивают обеззараживающего последействия и поэтому требуют ввода дополнительно на одной из стадий водоподготовки хлорреагентов для гарантированного обеззараживания воды в водопроводных сетях.

Недостатки и достоинства наиболее широко применяемых альтернативных методов обеззараживания – озонирование и УФ-облучения хорошо изучены. Основным недостатком этих методов, определяющим их место в технологии обеззараживания, является отсутствие эффекта обеззараживающего последействия. Поэтому эти методы используются на первичном (предварительном) этапе обеззараживания, что позволяет уменьшить дозу применяемого хлора.

При получении из подземных источников вода хлорируется обычно в начале магистрального водовода. При транспортировании воды на десятки и сотни километров по магистральным водоводам содержание в ней активного остаточного хлора снижается, и большую часть своего пути она может пройти без остаточного хлора. Технология хлорирования воды протяженных водопроводов основана на необходимости поддержания в воде остаточного хлора по всей протяженности водопроводной системы и в распределительной сети для подавления биологических процессов. С этой целью на водопроводах большой протяженности рекомендуется проводить дополнительное хлорирование в тех участках магистральных водоводов, где остаточный хлор в воде отсутствует или определяется в виде следов.

Расход свободного остаточного хлора на окислительные процессы происходит значительно интенсивнее по сравнению со связанным хлором, как на сооружениях, так и по мере транспортирования очищенной воды. Поэтому для исключения дополнительного хлорирования на протяженных магистральных водоводах технология хлорирования предусматривает проведение хлораммонизации при отсутствии природного аммиака, которая позволит получить остаточный хлор в воде в наиболее устойчивой форме (в виде моно- и дихлораминов) и увеличить продолжительность его действия на питьевую воду как консерванта.

Кроме главной функции – дезинфекции, благодаря уникальным окислительным свойствам и эффекту последействия, хлор служит и другим целям – контролю за вкусовыми качествами и запахом воды, предотвращению роста водорослей, поддержанию в чистоте фильтров, удалению железа и марганца, разрушению сероводорода, обесцвечиванию воды и т.п.

Поэтому нам, вероятно, следует постараться найти оптимальный путь применения хлора, так как каждый из хлорреагентов (хлор, гипохлорит, диоксид хлора и другие), как дезинфектант, имеет и достоинства, и недостатки. Чтобы в этом разобраться, необходимо найти взаимосвязь этих форм, условия их формирования и взаимной трансформации в воде.

Полученное различными авторами [1,2,3] известное соотношение между формами соединений хлора в воде в зависимости от величины pH представлено в виде графической зависимости. К сожалению, эти зависимости ограничены диапазоном значений pH от 0 до 11, что не охватывает всех возможных значений водородного показателя, но эти уже установленные экспериментально закономерности могут служить толчком к дальнейшим целенаправленным исследованиям для получения более полной картины преобразований и взаимосвязи соединений хлора в воде.

Обобщение систематизированных и обоснованных результатов по взаимодействию элемента Cl с ионами диссоциации воды дает возможность сделать следующее утверждение: хлор как химический элемент, взаимодействующий в воде с ионами диссоциации воды, образует в результате этого взаимодействия совместные по степени окисления непрерывно трансформирующиеся с изменением pH воды формы, причем максимумы концентраций образованных совместных форм совпадают и соответствуют дискретным значениям pH воды, возрастающим с ростом степени окисления.

Это утверждение наглядно демонстрируется диаграммой на рис.3.

Согласно приведенным в [3] результатам, состав форм однокомпонентного раствора хлора в воде и относительные соотношения их концентраций определяются относительными значениями водородного показателя pH^0 воды, вычисляемыми по формуле

$$pH^0 = pH/pK_w, \quad (1)$$

при условии, что

$$pH^0 = -\lg[H^+], \quad (2)$$

K_w есть ионное произведение воды и

$$pK_w = -\lg K_w, \quad (3)$$

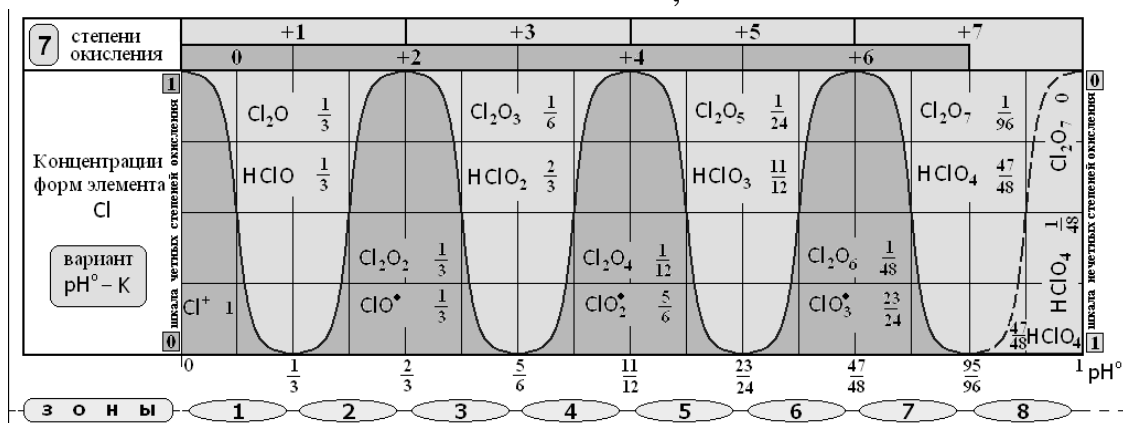


Рисунок 3 – Соотношение содержания форм соединений хлора в воде в зависимости от значения pH

Приведенная на рис.3 графическая зависимость демонстрирует последовательность плавного перехода от одних форм хлора к другим по мере изменения pH⁰, причем этот переход происходит по мере увеличения значения pH⁰, последовательно увеличивая степень окисления хлора от 0 до 7.

Обобщение систематизированных и обоснованных результатов по взаимодействию элемента Cl с ионами диссоциации воды дает возможность сделать следующее утверждение: хлор как химический элемент, взаимодействующий в воде с ионами диссоциации воды, образует в результате этого взаимодействия совместные по степени окисления, непрерывно трансформирующиеся с изменением pH воды формы, причем максимумы концентраций образованных совместных форм совпадают и соответствуют дискретным значениям pH воды, возрастающим с ростом степени окисления.

Литература

1. Clifford W. Handbook of chlorination and alternative disinfectants: 4-th edition. W. Clifford. A Wiley – Interscience Publication, 1999, 1570 p.
2. Бахир В.М. Оптимальный путь повышения промышленной и экологической безопасности объектов водоподготовки и водоотведения ЖКХ. Питьевая вода, 2007, №6.
3. Кожевников А.Б., Петросян О.П., Баранов А.А. Взаимосвязь хлор-реагентов (хлор, гипохлорит, диоксид хлора и другие). Водоснабжение и канализация, 2012, №3-4.

Силаева Наталья Альбертовна -старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана E-mail: silaeva1968@list.ru.

Петросян Ованес Петрович -канд. физ.-мат. наук,доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.E-mail: kf_mgtu_fiz@mail.ru.

Кулюкина Анастасия Ованесовна -студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.E-mail: kf_mgtu_fiz@mail.ru.

Чухраева Анастасия Игоревна -студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

О.П. Петросян, Н.А. Силаев, А.О. Кулюкина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИОРИТЕТОВ ПРИ ВЫБОРЕ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Мировой опыт подтверждает, что хлорирование воды чистым хлором является самым надежным санитарно-гигиеническим методом, предотвращающим распространение эпидемий и гарантирующим безопасность питьевой воды.

Существенными недостатками газообразного хлора считаются:

Хлор является сильно действующим ядовитым веществом, поэтому водопроводные очистные станции, использующие хлор для обеззараживания, являются объектами повышенной опасности.

Необходимость точной дозировки хлора. Недостаточная доза хлора может привести к тому, что он не окажет необходимого бактерицидного действия; излишняя доза хлора ухудшает вкусовые качества воды и отрицательно сказывается на здоровье населения. Показателем достаточности принятой дозы хлора служит наличие в воде так называемого остаточного хлора (остающегося в воде от введенной дозы после взаимодействия с микробами и бактериями и окисления находящихся в воде веществ). Согласно нормативным требованиям, для предотвращения вторичного заражения воды концентрация остаточного хлора в ней перед поступлением в сеть должна быть не ниже 0,3 мг/л. Потенциальный риск здоровью связан прежде всего с возможностью образования тригалометанов (ТГМ): хлороформа, дихлорбромметана, дибромхлорметана и бромформа.

Необходимость обеспечения хорошего смешивания хлора с водой и достаточной продолжительности (не менее 30 мин.) их контакта.

Необходимость гарантированного предотвращения утечки хлора. Ввиду ядовитости хлора утечка его представляет опасность для обслуживающего персонала.

Необходимость хранения большого запаса хлора на станциях. Так как из одного баллона (при комнатной температуре) может быть получено лишь около 0,5 – 0,7 кг хлора в 1 час, то при большом общем расходе хлора может возникнуть необходимость одновременного использования значительного числа баллонов. Во избежание этого принимают меры по увеличению съема хлора, обогревая баллоны нагретым воздухом или водой.

Отметим, что гипохлорит[1] – это раствор хлора в воде при $pH > 9$, т.е. гипохлорит имеет щелочной характер. С одной стороны это приводит к повышению уровня pH , хотя и незначительному, а с другой – нарушается химическое равновесие в питьевой воде. Скорость процессов в большей степени определяется принципом Ле-Шателье, т.е. гипохлоритные ионы

все это время будут медлить переходить в активную форму, что весьма негативно должно сказаться на обеззараживании воды.

Хлор не влияет на рН воды, т.е. ни коим образом не дестабилизирует систему. Это первое и весьма существенное преимущество хлора.

Более того, потенциальной опасностью гипохлорита является его полная несовместимость с кислотами [2,3,4].

Анализ работ [5,6] позволяет сделать выводы, что гипохлорит натрия обладает существенно меньшей бактерицидной активностью, нежели хлорноватистая кислота, концентрация которой максимальна при растворении хлора в воде. Гипохлорит имеет худшую бактерицидную активность. Это – второе преимущество хлора.

Кроме того, гипохлорит неэффективен против цист, что ограничивает его применение на протяженных водопроводных сетях. Это – третье преимущество хлора.

Дискуссии о дезинфицирующей способности гипохлорита уже давно завершены врачами-эпидемиологами [6], и их выводы изложены в практическом руководстве, где указано, что гипохлорит натрия, полученный химическим или электрохимическим путем (неважно, каким) неэффективен против споровых форм микроорганизмов. Это – четвертое преимущество хлора.

Кроме того, хорошо и давно известно, что гипохлорит натрия не в состоянии обеспечить удаление биопленок с поверхности трубопроводов, благоприятных для развития микроорганизмов и вторичного загрязнения воды. Это – пятое преимущество хлора.

Практический опыт использования гипохлорита марки А и Э на Московском водоканале [10] выявил все эксплуатационные недостатки этого реагента (это – девятое преимущество хлора).

Сопоставление затрат на оборудование, ремонт и обслуживание объектов с использованием гипохлорита и хлора также не в пользу гипохлорита (десятое преимущество газообразного хлора), таким образом, замена хлора на гипохлорит увеличивает себестоимость воды, ухудшая ее качество по бактериологическим показателям и химическому составу. Это – одиннадцатое преимущество хлора.

Авторы отчета [7] и статьи [8,9,10] утверждают, что диоксид хлора не является дезинфицирующим веществом хлорного типа, т.е. не высвобождает свободный хлор, а значит, не образует вредные побочные продукты, однако его биоцидное воздействие на бактерии, вирусы, водоросли, грибки и т.п. является более мощным, чем у хлора, за счет активного кислорода.

Рассмотрим подробнее достоинства диоксида хлора:

- эффективный окислитель и дезинфектант для всех видов микроорганизмов, включая цисты (*Giardia*, *Cryptosporidium*), споровые формы бактерий и вирусы;

- дезинфицирующее действие практически не зависит от pH воды, в то время как эффективность хлора снижается с отклонением значения pH от 7,4;
- не образует хлораминов, наличие которых зачастую ухудшает органолептические показатели воды;
- не способствует образованию тригалометанов и других хлорорганических соединений;
- дезодорирует воду, разрушает фенолы – источник неприятного вкуса и запаха;
- не образует броматов и броморганических побочных продуктов дезинфекции в присутствии бромидов;
- способствует удалению из воды железа и марганца путем их быстрого окисления, и осаждения оксидов;
- улучшает флокуляцию необработанной сырой воды;
- умягчает воду;
- длительно сохраняет бактерицидный эффект (до 7 суток) в водораспределительных системах и, как следствие, удаляет микробиологические отложения в системе распределения воды.

Основным недостатком диоксида хлора, выявленным во время эксплуатации диоксидных установок в России, является образование побочных продуктов – хлоратов и хлоритов, содержание которых в питьевой воде необходимо контролировать. В соответствии с СанПиНом предельно допустимая концентрация хлоритов – 0,2 мг/дм³ с санитарно-токсикологическим лимитирующим показателем, соответствующим третьему классу опасности. Эти нормы ограничивают предельную дозу диоксида при дезинфекции воды.

При этом необходимо помнить, что двуокись хлора – высокотоксичное вещество, кратковременное действие которого вызывает раздражение глаз, носоглотки и легких. Длительное воздействие может вызвать бронхит, непроходимость дыхательных путей и отек легких. Исходя из вышесказанного диоксид хлора не транспортируется к месту потребления, а производится в месте потребления.

Существенное значение в выборе применяемых способов обеззараживания имеют капитальные затраты, необходимые для внедрения того или иного метода. Исследования, проведенные в проектных и изыскательных работах специалистами Мосводоканала, направленные на снижение затрат по обеззараживанию сточных вод включают в рассмотрение 24 схемы с использованием различного оборудования (импортного и отечественного) для хлорирования, озонирования и УФ-облучения [10].

Экономический анализ методов учитывает следующие факторы:

1) поскольку сточные воду необходимо дехлорировать, т.е. понижение концентрации остаточного хлора до предельного допустимого, в схемах,

использующих хлоргаз или гипохлорит производится дехлорирование двуокисью серы, бисульфитом натрия, либо серным ангидридом;

2) при обеззараживании УФ-облучением неочищенных, цветных или вод с повышением содержания железа коэффициент поглощения оказывается настолько большим, что метод становится экономически нецелесообразным, а с санитарной точки зрения – ненадежным.

В качестве критериев для оценки были выбраны удельные капитальные затраты, себестоимость и приведенные затраты.

Заключение.

Проведенный выше анализ химических, технических, экономических достоинств и недостатков наиболее распространенных дезинфектантов и соответствующих систем обеззараживания питьевой воды позволяет сделать следующие утверждения.

При сравнении дезинфектантов необходимо учитывать, что диоксид хлора является высокотоксичным и на сегодня самым дорогим с точки зрения его производства веществом, которое может производиться только в месте потребления, т.е. его транспортировка исключена.

Хлорирование воды чистым хлором является самым надежным санитарно-гигиеническим методом, предотвращающим распространение эпидемий и гарантирующим безопасность питьевой воды, что подтверждается и мировым опытом его применения.

Хлор, обладая дезинфицирующим последствием, как и все хлорсодержащие реагенты, незаменим в системах водоподготовки, содержащих распределительные сети.

Хлор, не только обладает дезинфицирующим последствием и надежно обеспечивает дезинфекцию питьевой воды, но и улучшает ее органолептические свойства и не привносит в нее побочных компонентов, сопровождающих производство хлорсодержащих реагентов.

Литература

1. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Автоматическое дозирование гипохлорита и иных жидких реагентов. Водоснабжение и санитарная техника, №11, 2008 г.

2. Кожевников А.Б., Петросян О.П., Баранов А.А. Сравнительный анализ систем нейтрализации аварийных выбросов хлора. Водоснабжение и канализация, № 7-8, 2011 г.

3. Кожевников А.Б., Петросян О.П., Баранов А.А. Сравнительный анализ хлора и гипохлорита как дезинфектантов питьевой воды. Водные ресурсы и водопользование, Казахстан Су Арнасы, 2011, №11(94).

4. Кожевников А.Б., Петросян О.П., Баранов А.А. Можно ли в России остановить противников хлора? Водоснабжение и канализация, 2009, № 9-10.

5. Бахир В.М. К проблеме поиска путей промышленной и экологической безопасности объектов водоподготовки и водоотведения ЖКХ. Водоснабжение и канализация, 2009, №1.

6. Кожевников А.Б., Петросян О.П. Хлорирование – микробиологическая и техническая безопасность водоподготовки. Материалы XII Международной научно-практической конференции «Проблемы управления качеством городской среды. Водная безопасность поселений России», Москва, 2008.

7. Деменкова Т., Лисовская Г. Питьевую воду «обезвредит» диоксид хлора. Медицинский вестник РНПЦ гигиены, 2008.

8. Диоксид хлора – альтернатива хлорированию. URL: www.intertechnologya.com, 2011 (дата обращения – ЧЧ.ММ.ГГГГ г.).

9. Гурвич В.Б., Хачатуров А.А., Селянкина К.П., Борзунова Е.А., Плотко Э.Г., Сайченко С.П., Акрамов Р.Л. О целесообразности комбинированного использования хлора и диоксида хлора для обеззараживания питьевой воды в практике централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения города Нижнего Тагила. Сборник научных статей сотрудников Центра Госсанэпиднадзора в Свердловской области. К 80-летию службы, 2002.

10. Данилович Д.А., Козлов М.Н. и др. Сравнительная оценка методов обеззараживания сточных вод. Вода и экология, 2000, №4.

Петросян Ованес Петрович - канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_mgtu_fiz@mail.ru.

Силаева Наталья Альбертовна - старший преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана E-mail: silaeva1968@list.ru.

Кулюкина Анастасия Ованесовна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_mgtu_fiz@mail.ru.

А.К. Горбунов, Д.Н. Волчёнков, А.И. Чухраева

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В модели сигналов описываемой случайной функцией, центрированной и нестационарной относительно функции корреляции, сохраняются их принципиальные свойства: ограниченные длительностью T и энергией W [1], что обеспечивает недетерминированность модели. Другим свойством является сосредоточение основной доли энергии W в эффективной полосе частот, где $\Phi(m)$ – максимальное значение спектральной плотности $\Phi(f)$ для средней в T мощности, соответствующее частоте $f(m)$.

Случайные функции $u(t)$ в определенном смысле могут быть представлены в виде

где – случайные величины, – неслучайные функции времени t .

назовем множество N на базисными составляющим, если они:

1. в совокупности несут основную долю энергии S ;

2. обладают двойной ортогональностью: некоррелированные, ортогональны;

3. являются финитными функциями t , причем $T(k) < T$, где $T(k)$ – интервалы, в которых $u(t)$ отличны от нуля.

Рассмотрим два способа образования базисных составляющих:

1. последовательный, когда в (1)

где – значение S в точках, в которых средняя (по интервалу T) функция корреляции

где M – оператор математического ожидания проходит через нуль.

где собственные значения

Ансамбль изображений представляет собой случайное поле. Пусть $P(u)$ – n – мерная совместная плотность вероятности фрагмента изображения $u = \{u(t_1), u(t_2), \dots, u(t_n)\}$, состоящее из n элементов.

Допустим, что источник изображений может находиться в различных состояниях Θ ($\Theta = 1, \dots, M$). Пусть номер состояния есть случайная величина s с известным распределением вероятности $P(\Theta)$ ($\Theta = 1$). Тогда

$$P(u) = \sum_{\Theta} P(u|\Theta)P(\Theta) \quad (1)$$

где $P(u|\Theta)$ – n – мерная плотность вероятности фрагмента при заданном состоянии источника.

Выражение (1) есть разложение плотности $P(u)$ по системе плоскостей $P(u|\Theta)$, $\Theta = 1, \dots, M$. Такое представление особенно полезно, когда $P(u)$ можно хорошо аппроксимировать с помощью небольшого набора гауссовских распределений

$$P(u|\Theta) = C_{\Theta} \exp \{-1/2(u, R_{\Theta}^{-1}u)\}, \quad \Theta = 1, \dots, M$$

где C_{Θ} – константа нормировки, R_{Θ}^{-1} – матрица, обратная ковариационной матрице R_{Θ} , соответствующей состоянию источника Θ .

Различные ковариационные матрицы R_{Θ} описывают разную статистическую структуру фрагмента изображения, проявляющуюся в характере корреляционных связей его элементов.

Матрицы R_{Θ} (или $R_{\Theta-1}$) и распределение вероятностей (Θ) находились в ходе статистических измерений набора реальных изображений.

3. Пусть наблюдается изображения с аддитивно наложенным на него независимым от изображения гауссовским шумом, с известной ковариационной матрицей N . Требуется найти оптимальную (в смысле среднеквадратического отклонения) оценку $\hat{u}(t)$ элемента изображения $u(t)$ по n – элементному фрагменту наблюдаемого изображения $u_t = \{u(t+\tau_0), u(t+\tau_1), \dots, u(t+\tau_{n-1})\}$, где $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_{n-1}$ – заданные точки, лежащие в окрестности точки $\tau_0 = (0,0)$.

Используя выражение (1) можно найти оценку

$$\hat{u}(t) = (\Theta/u_t) \hat{u}_{\Theta}(t) \quad (2)$$

Величина $\hat{u}_{\Theta}(t)$ если условная оценка $u(t)$ при заданном состоянии источника. Оценка $\hat{u}(t)$ есть взвешенная сумма условных оценок $\hat{u}_{\Theta}(t)$. Вес каждой условной оценки есть апостериорная вероятность состояния Θ при данном фрагменте u_t . Для $\hat{u}_{\Theta}(t)$ получим известную формулу Винера:

$$\hat{u}_{\Theta}(t) = (E + NR_{\Theta-1})^{-1} \int l_b(t_l)$$

где E – единичная матрица и $[A]_{11}$ – обозначает элемент матрицы A . апостериорная вероятность состояния

$$(\Theta/u_t) = (\Theta) \exp\{-1/2(u_t, R_{\Theta-1}(E + NR_{\Theta-1})^{-1} u_t)\} / (\Theta) \exp\{-1/2(u_t, R_{\Theta-1}(E + NR_{\Theta-1})^{-1} u_t)\}.$$

Алгоритм (2) может быть интерпретирован следующим образом: каждое состояние источника соответствует некоторой структуре фрагмента изображения. Для каждой структуры применяется специфический режим сглаживания, осуществляемый соответствующим линейным фильтром. Если, например, при некотором Θ матрица $R_{\Theta-1}$ описывает только горизонтальные корреляционные связи, то и оценка $\hat{u}_{\Theta}(t)$ должна получать сглаживанием только в горизонтальном направлении.

Выводы:

1. Параметр N в обоих случаях ограничен одной той же величиной за счет ограниченности энергии сигналов.

2. Коэффициент K при последовательном способе не зависит от N , а при одновременном способе может быть сколько угодно близким (при достаточно большом N).

3. Базисные составляющие при одновременном способе могут сколько угодно полно сохранить информацию исходных сигналов.

Тем самым обосновывается переход к конечномерной модели с N изменениями, сохраняющей сколько угодно полно информацию и энергию, а также конечную длительность физических сигналов. Это исключает (в Гауссовском приближении) известные парадоксы и позволяет определить предельную скорость передачи информации в физических каналах.

Литература

1. В.Н. Bharucha, Т.Т. Kadota, On the representation of continuous parameter processes by a sequence of random variables, IEEE Trans., IT-56, #2, 2010.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Волчёнков Дмитрий Николаевич -студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Manfils@yandex.ru.

Чухраева Анастасия Игоревна -студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

К.А. Хатамова, А.К. Горбунов

ОЦЕНКА ВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Производится расчет распределения вероятностей времени передачи сообщения в системе с переспросом и возвращением. Расчеты ведутся по модели, основанной на цепях Маркова.

При расчетах показателей верности передачи информации по каналам, модель источника ошибок в которых описывается на основе цепей Маркова, явное выражение рассматриваемых распределений обычно имеет довольно громоздкий вид. Непосредственные расчеты обычно удобнее вести на основе матричных производящих функций, которые довольно просто позволяют получить рекуррентные, приближенные и асимптотические формулы. Покажем это путем расчета распределения времени передачи сообщения в системе связи с переспросом и возвращением.

В этой системе по каналам обоих направлений передаются комбинации длины n , каждая из которых содержит сигнал обратной связи – подтверждение или переспрос (для кодирования сигнала обратной связи могут использоваться специальные позиции комбинации, либо сигналом подтверждения может служить передача кодовой, а сигналом переспроса – некодовой комбинации). Комбинации, в которых имеется сигнал подтверждения, содержит также информацию, защищенную кодом с обнаружением ошибок. Комбинации, в которых имеется сигнал переспроса, другой информации не содержат. Примем время передачи комбинации длины n за единицу. При получении комбинации с переспросом, либо при обнаружении ошибок, эта и $M-1$ последующих комбинаций стираются, а по обратному каналу посылается комбинация с переспросом и продолжается передача информации с возвращением на $M-1$ комбинаций.

Если же в принимаемой комбинации содержится сигнал подтверждения, то по обратному каналу передается очередная комбинация с сигналом подтверждения.

По этой системе передаются сообщения, кодируемые в K комбинаций. Если в сообщении обнаружены ошибки, то время L , необходимое для его передачи при отсутствии переспросов, увеличивается на величину γM , где γ – случайная величина, равная числу переспросов комбинаций рассматриваемого сообщения, пока все они не будут приняты без обнаруженных ошибок. Наша цель – найти распределение $P(\gamma)$ вероятностей того, что время передачи сообщения равно $L + \gamma M = T_\gamma$. В настоящей работе расчеты ведутся методом матричных производящих функций по модели источника ошибок, согласно которой состояния источника ошибок в прямом и обратном каналах образуют стационарную цепь Маркова с матрицей переход-

ных вероятностей P и матрицами $E_m = \text{diag}\{\varepsilon_{im}\}$, $m = 1, 2$ условных вероятностей ошибок в прямом ($m = 1$) и обратном ($m = 2$) каналах.

Обозначим через G матрицу, (i, j) -й элемент которой равен вероятности того, что цепь Маркова перейдет из состояния i на позиции, предшествующий передаче комбинации, в состоянии j на последней позиции этой комбинации и при этом в комбинации прямого и обратного каналов ошибки не обнаружены. Справедлива оценка

$$G \approx \prod_{m=1}^2 \{P_{mn}(0) + [P^n - P_{mn}(t < d_m)]2^{-r_m}\},$$

где r_m – число проверочных символов, d_m – кодовое расстояние кода, используемого в m -м канале,

$$P_{mn}(t < d) = \sum_{t=0}^{d_m-1} P_{mn}(t)$$

матрицы $P_{mn}(t)$ имеют производящую функцию

$$\Phi_{mn}(z) = \sum_{t=0}^n P_{mn}(t)z^t = (A_m + B_m z)^n,$$

где $A_m = P(E - \varepsilon_m)$, $B_m = P\varepsilon_m$. Из предыдущей формулы следует, что матрицы $P_{mn}(t)$ удовлетворяют соотношениям

$$P_{mn}(t) = \sum_{t_1} P_{mn_1}(t_1)P_{m, n-n_1}(t-t_1),$$

которые удобно использовать для расчетов на ЭВМ.

Если матрицы A_1, A_2 примитивные, то при $n \rightarrow \infty$ справедливы асимптотические формулы

$$P_{mn}(t) \approx [-\square_m'(z_{m1})]^{-t-1} C_m(z_{m1}) [B_m C_m(z_{m1})]^t z_{m1}^{-n-1},$$

где z_{m1} – наименьший по модулю корень многочлена $\square_m(z) = \det(E - zA_m)$, $C_m(z)$ – матрица, присоединенная к $E - A_m z$.

Обозначим через $P(\gamma; K)$ матричную вероятность того, что время передачи сообщения из K блоков равно T_γ , т.е. матрицу, (i, j) -й элемент которой представляет собой вероятность перехода цепи Маркова из состояния на позиции i , предшествующей передаче рассматриваемого сообщения в состоянии j на позиции $nT_\gamma + i$ и при этом время передачи сообщения равно T_γ . Можно показать, что матрицы $P(\gamma; K)$ имеют производящую функцию вида:

$$\Psi(z) = \sum_{\gamma=0}^{\infty} P(\gamma; K) z^\gamma = [(E - GR^{M1}z)^{-1} H]^K,$$

где $R = P^n$, $H = R - G$. Из этой формулы следует соотношения

$$P(\gamma; K) = \sum_{\gamma_1} P(\gamma_1; K_1) P(\gamma - \gamma_1; K - K_1)$$

и, в случае, когда матрица G примитивная, получаем асимптотические оценки

$$P(\gamma; K) \approx [-\Delta'(z_1)]^{-K} [B(z_1)H]^K \frac{\gamma^{K-1}}{(K-1)!} z_1^{-\gamma}$$

где z_1 – наименьший по модулю корень многочлена $\Delta(z) = \det(E - Gz)$, $B(z)$ – матрица, присоединенная к $E - Gz$.

Интересующее нас распределение $P(\gamma)$ вероятностей того, что время передачи сообщения составит T_γ определяется по формуле

$$p(\gamma) = P_0 P(\gamma; K) I$$

где P_0 – матрица-строка начальных вероятностей, I – матрица-столбец из единиц.

В заключение отметим, что предлагаемые методы расчета и найденные выше матрицы могут быть использованы для оценки многих распределений, характеризующих вероятность передачи информации по каналам, модель источника ошибок в которых описывается на основе цепей Маркова. Например, вероятность того, что в смежных блоках длины n_1, n_2, \dots, n_v первого канала возникает t_1, t_2, \dots, t_v ошибок, может быть найдена по формуле

$$P_{n_1, n_2, \dots, n_v}(t_1, t_2, \dots, t_v) = P_0 P_{1n_1}(t_1) P_{1n_2}(t_2) \dots P_{1n_v}(t_v) I$$

где матрицы $P_{1n}(t)$, P_0 , I , определены выше.

Литература

1. Р.Г. Галлагер, Теория информации и надежная связь, М. Мир 1990.

Хатамова Камила Алишеровна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kamillacher2014@gmail.com.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

М.Л.Прокофьев, А.К. Горбунов

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ С УПРАВЛЯЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В работе рассматривается математическая модель системы передачи с изменяющейся в соответствии с марковским процессом производительностью.

В системах передачи информации с целью сохранения значений их показателей качества в определенных пределах предусматривается реализация различных алгоритмов, позволяющих учитывать изменения поступающего на вход системы потока требований. Наиболее распространенным примером является алгоритм подключения дополнительного прибора обслуживания, что может рассматриваться, как частный случай системы передачи данных с изменяющейся скоростью обслуживания.

Система с меняющейся производительностью является управляемой системой массового обслуживания (СМО) и, следовательно, ее модель должна включать, наряду с описанием процессов поступления требований и их обслуживания и описание процесса управления ресурсами СМО (такими ресурсами могут быть объем запоминающего устройства или производительность системы).

В классическое обозначение СМО по Кендаллу $A | B | K$, где A – распределение промежутков времени между поступлениями требований, B – распределение времени обслуживания; предлагается ввести после A и B еще один символ C так, что обозначение принимает вид $A | B | C | K$, где C – распределение процесса управления ресурсами СМО.

В данной работе рассматривается система с меняющейся производительностью, причем процесс изменения производительности предполагается марковским. Используя модифицированную символику, обозначим СМО следующим образом $M | G | M | I$.

Процесс изменения интенсивности обслуживания предполагает наличие на одном интервале времени скорости передачи C_1 , а на другом интервале времени скорости $C_2 > C_1$.

Переходя к преобразованию Лапласа (ПЛ) плотности распределения вероятностей (ПРВ) времени пребывания в системе с переменной производительностью $M | G | M | I$, можно записать ПЛ ПРВ:

$$L(s, \mu_i) = \pi_1 L(s, \mu_1) + \pi_2 L(s, \mu_2)$$

где π_1 – финальная вероятность того, что система имеет производительность C_1 (интенсивность обслуживания μ_1); π_2 – финальная вероятность того, что система имеет производительность C_2 (интенсивность обслуживания μ_2); $L(s, \mu_1)$ – ПЛ ПРВ времени пребывания в системе $M | C | I$ при ин-

тенсивности обслуживания μ_1 ; $L(s, \mu_2)$ – ПЛ ПРВ времени пребывания в системе $M | C | I$ при интенсивности обслуживания μ_2 .

Переходные вероятности процесса изменения производительности определяются из системы дифференциальных уравнений, которая сводится к линейному неоднородному дифференциальному уравнению первого порядка [1].

Переходные вероятности записываются в виде:

$$\begin{aligned}\pi_{11}(\tau) &= \frac{\beta}{\alpha + \beta} + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} \exp[-(\alpha + \beta)\tau] \\ \pi_{12}(\tau) &= \frac{\alpha}{\alpha + \beta} [1 - \exp[-(\alpha + \beta)\tau]] \\ \pi_{21}(\tau) &= \frac{\beta}{\alpha + \beta} [1 - \exp[-(\alpha + \beta)\tau]] \\ \pi_{22}(\tau) &= \frac{\alpha}{\alpha + \beta} + \frac{\beta}{\alpha + \beta} \exp[-(\alpha + \beta)\tau],\end{aligned}$$

где α – интенсивность процесса изменения производительности ($C_1 \rightarrow C_2, \mu_2 \rightarrow \mu_1$), в сторону возрастания; β – интенсивность процесса изменения производительности ($C_2 \rightarrow C_1, \mu_2 \rightarrow \mu_1$), в сторону убывания.

Значения финальных вероятностей функционирования системы в различных режимах определяются из выражений для переходных вероятностей при $\tau \rightarrow \infty$.

В установившемся режиме переключений для СМО вида $M | G | M | I$ ПЛ ПРВ времени пребывания в системе определяются следующим выражением:

$$L(s, \mu_i) = \frac{\beta}{\alpha + \beta} L(s, \mu_1) + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} L(s, \mu_2).$$

Учитывая выражение для ПЛ ПРВ времени пребывания кадра в системе $M | G | I$ получим:

$$L(s, \mu_i) = \frac{\beta}{\alpha + \beta} B_e(s) \frac{s(1 - \rho_1)}{s - \lambda + \lambda B_1(s)} + \frac{\alpha}{\alpha + \beta} B_e(s) \frac{s(1 - \rho_2)}{s - \lambda + \lambda B_2(s)}. (*)$$

Таким образом, получено выражение ПЛ ПРВ времени пребывания в системе $M | G | M | I$ при марковском процессе управления изменением производительности. Первая и вторая производные от выражения (*) дают первый и второй момент длины очереди в буферном накопителе.

В качестве примера определим среднюю длину очереди в системе $M | M | M | I$. Эту характеристику определим на основе формулы (*) для $L(s, \mu_i)$:

$$L(s, \mu_i) = \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{1 - \rho_{\text{ЭКВ}}} - \frac{\rho_1 \pi_2 + \rho_2 \pi_1}{1 - \rho_{\text{ЭКВ}}},$$

где $\rho_{\text{ЭКВ}} = \rho_1 + \rho_2 - \rho_1 \rho_2$, $\rho_1 = \frac{\lambda}{\mu_1}$, $\rho_2 = \frac{\lambda}{\mu_2}$.

Литература

1. Л. Клейнрок Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1990.

Прокофьев Михаил Львович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shinoda25px@yandex.ru.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Е.И. Упоров, А.К. Горбунов

ПЕРЕДАЧА НЕТЕРПЕЛИВЫХ ПАКЕТОВ В СИСТЕМЕ СО СЛУЧАЙНЫМ МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается передача пакетов в системах со случайным множественным доступом в канал, при этом допускается потеря части пакетов. Предложен способ доступа в канал, при котором теряются наиболее "старые" пакеты.

В ряде случаев, например, при пакетной передаче речи, требуется обеспечить достаточно малую задержку и при этом, благодаря избыточности информации допустимо потерять часть пакетов. Такой способ передачи называют передачей "нетерпеливых" пакетов. При этом предполагается, что с вероятностью q пакет, попавший в конфликт, отказывается от дальнейшей передачи и теряется, а с вероятностью $(1 - q)$ продолжает оставаться в системе и подчиняться алгоритму СМД (случайного множественного доступа).

В данном докладе подход видоизменяется следующим образом.

Будем рассматривать синхронную систему СМД с бесконечным числом абонентов, которые порождают пуассоновский поток пакетов интенсивности λ [1]. Ограничимся рассмотрением алгоритмов, которые работают сеансами. В каждом окне сеанса передаются все пакеты, поступившие в систему в течение некоторого отрезка времени. Верхнюю границу отрезка обозначим через $b_i(t)$, а нижнюю через $a_i(t)$, где i - номер по порядку сеанса от начала работы системы, а t - номер окна в сеансе. К началу каждого окна границы отрезка переопределяются в соответствии с инструкциями, которые приводятся ниже. В инструкциях через $b_i(t) \rightarrow (s)$ обозначена операция записи величины $b_i(t)$ в стек, а через $(s) \rightarrow b_i(t)$ - операция присвоения величине $b_i(t)$ значения, извлеченного из стека.

Инструкция определения границ отрезка.

Если в окне t конфликт, $b_i(t) \rightarrow (s)$, $b_i(t + 1) = \frac{(b_i(t) + a_i(t))}{2}$.

Если в окне t успешная передача, то $a_i(t + 1) = b_i(t)$, $(s) \rightarrow b_i(t + 1)$.

Если окно t пустое, а в последнем непустом окне успешная передача, то $a_i(t + 1) = b_i(t)$, $(s) \rightarrow b_i(t + 1)$.

Если окно t пустое, а в последнем непустом окне конфликт, то $a_i(t + 1) = b_i(t)$, $b_i(t + 1) = \frac{(b_i(t) + a_i(t))}{2}$.

Если в процессе выполнения инструкций необходимо выполнить операцию извлечения из стека, а он пуст, то это свидетельствует о конце сеанса. Границы отрезка для первого окна следующего сеанса определяются так: $b_{i+1}(1) = \min(a_{i+1}(1) + s, T)$, $a_{i+1}(1) = b_i(1)$, где T - текущий момент времени, а s - параметр алгоритма.

Из приведенных инструкций следует, что все пакеты, которые передавались в некотором сеансе и не получили успешную передачу до его конца, будут потеряны. Другими словами, теряются пакеты, достигшие "дна" стека, что и обеспечивает удаление из системы наиболее старых пакетов.

Можно показать, что при глубине стека, равной s , мы получим алгоритм без потерь. Введем в рассмотрение следующие характеристики: R - скорость алгоритма, т.е. та предельная интенсивность входного потока, при которой средняя задержка успешно переданных пакетов конечна, $\lambda_1(\lambda)$ и $\lambda_2(\lambda)$ - интенсивности потока успешно переданных и потерянных пакетов. Обозначим через $T(x)$ и $Z(x)$ среднее число окон и среднее число успешно переданных пакетов в сеансе при условии, что среднее число пакетов, передававшихся в первом окне сеанса, равно x .

Можно показать, что при любом значении параметра алгоритма справедливы следующие утверждения.

1) Скорость алгоритма R является корнем уравнения: $R = \frac{sR}{T(sR)}$.

2) При $\lambda < R$ имеет место равенство: $\lambda_1 = \frac{Z(sR)}{s}$, $\lambda_2 = \lambda - \lambda_1$.

В таблице 1 приведены значения доли потерянных пакетов для алгоритмов с различной глубиной стека при предельной интенсивности входного потока и значения R . Значения для глубины стека 1 и s получены численным путем, для глубины 2 и 3 функции $T(x)$ и $Z(x)$ строились на основе имитационного моделирования.

Таблица 1.

Глубины стека	1	2	3	∞
s	2.607	2.69	2.714	2.71
R	0.547	0.491	0.472	0.462
$\frac{(R)}{R}$	0.384	0.373	0.297	0.0

На основе имитационного моделирования было проведено сравнение по задержке алгоритмов с потерями и без потерь. При интенсивности входного потока в диапазоне 0.2 – 0.3 алгоритмы с потерями обеспечивают более низкую среднюю задержку, а доля потерянных пакетов незначительна. Например, при $\lambda = 0.3$ алгоритм с потерями при глубине стека 1 обеспечивает задержку приблизительно в 1.5 раза меньшую, чем известный алгоритм дробления, а доля потерянных пакетов составляет приблизительно 2%. Таким образом, предложенный в докладе метод передачи нетерпеливых пакетов позволяет обеспечить устойчивую работу при $\lambda > 0.5$.

Литература

1. Capetanakis J.L. Tree Algorithms for Packet Broadcast Channels//IEEE Trans. Inform. Theory. 1999, vol.45, №5, p.p. 505-515.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Упоров Егор Ильич - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: egoruporov@rambler.ru.

А.К. Горбунов, А.А. Артамонов

ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ СВЯЗИ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматриваются особенности проектирования сетей связи источников и приемников информации с центральным управляющим вычислительным комплексом в локально-распределенных автоматизированных системах управления технологическими процессами. Приводятся формальные зависимости для расчета протяжности линий связи. Предлагается два подхода к построению сети каналов связи между центральной ЭВМ и отдельными локальными подсистемами.

При проектировании автоматизированных систем управления технологическими процессами территориальное удаление датчиков и исполнительных механизмов от цифровой вычислительной машины выдвигает ряд задач теоретического и инженерного характера, одной из которых является оптимизация сетей связи, объединяющих ЦВМ, средства сбора и первичной обработки информации, передача управляющих воздействий, а также источники исходных и потребители командных сигналов.

Если объект управления расположен на обширной производственной площади, а количество датчиков и приемников информации (исполнительные органы, устройства индикации и сигнализации) значительно, то при централизованной построении АСУ ТП стоимость кабельных соединений может быть соизмеримой со стоимостью основного оборудования системы или даже превысить ее. Кроме того, нужно учитывать трудности прокладки большого числа кабелей по производственной территории. В связи с этим в настоящее время переходят к децентрализованному локально-распределенному управлению технологическими процессами и возникает необходимость разработки структуры АСУ ТП с учетом топологии размещения ее отдельных звеньев по территории цеха с целью совершенствования процесса сбора и первичной обработки измерительной информации, минимизации линий связи технологического оборудования с управляющей цифровой вычислительной машиной.

В данном докладе рассматриваются вопросы построения сетей связи ЦВМ с источниками (ИИ) и потребителями информации (ПИ) в АСУ ТП, оптимизация этих сетей по критерию минимума кабельных соединений системы, предлагается разработанная на этой основе инженерная методика расчета вариантов структуры АСУ ТП.

Обобщенную информационную структуру локально-распределительной АСУ ТП можно представить в виде совокупности двух типов линий связи: неуплотненных, соединяющих источники и приемники информации с отдельными локальными подсистемами (ЛПС), и уплотненных, которые в дальнейшем будем называть каналами связи, объединяющие отдельные ЛСП с центральным управляющим вычислительным комплексом (УВК).

Общая протяженность линий связи системы может быть найдена из выражения:

$$L = \sum_{j=1}^k q_j l_{\Sigma_j}^i + L_{\min} \omega \quad (1)$$

где q_j – количество ЛСП на j -ом участке произведенной территории; $l_{\Sigma_j}^i$ – общая длина i -ых линий связи ИИ и ПИ, обслуживаемых отдельной j -ой ЛСП. L_{\min} – длина магистрали, соединяющей все ЛСП с центральным УВК.

Целесообразно рассматривать процедуры оценки длинны линий и каналов связи, определяемые первым и вторым членами формулы (1), отдельно.

Оптимизация размещения локальных подсистем на территории цеха основана на анализе суммарной длины линий связи, относящихся к отдельным локальным подсистемам, и минимизации ее в зависимости от ряда факторов:

- плотности распределения ИИ и ПИ по производственной территории;
- общего количества участков в цехе, обслуживаемых определенными локальными системами;
- места расположения ЛСП в пределах обслуживаемой производственной площади;
- геометрической формы участка цеха;
- способа трассировки линии связи по территории цеха.

Для построения оптимальной сети связи, соединяющей общим каналом центральный УВК и ряд удаленных ЛПС, предлагается два подхода. Первый основан на том, что исходная модель информационной структуры АСУ ТП представляется в виде полносвязного неориентированного графа G . Тогда синтез информационной структуры с минимальными линейными размерами сети связи сводится к определению на исходной модели частичного графа с минимальным числом ребер, равным $m = q - 1$, где q – общее число ЛПС рассматриваемой сети. Этому графу может быть представлен в соответствии путь μ_k , представляющей собой сумму длин участвующих в образовании пути ребер $L_{\mu k} = \sum_y^m l_{ij}$, где l_{ij} – расстояние между i и j ЛПС, и характеризуемый свойствами, вытекающими из особенностей АСУ ТП: однократным входением в граф вершин и ребер (т.е. отсутствием на искомом графе циклов и петель), последовательным перебором вершин в той или иной последовательности, и обладающий наименьшей длиной $L_{\mu k} = L_{\min}$.

Пошаговая реализация поставленной задачи основана на переборе маршрутов и отыскание одного из них, матрица смежности которого на основании информации, содержащейся в матрице длин, укажет на кратчайшую связывающую сеть.

Рассмотренный подход к определению кратчайшего пути дает возможность рассчитать все возможные варианты построения конфигурации сети каналов связи. Это особенно важно на практике в условиях, когда на исходной модели имеют место «запрещенные» участки на произведенной территории между отдельными подсистемами. Кроме того, алгоритм легко поддается программированию на универсальных ЦВМ и, наконец, метод достаточно общий, так как не является принадлежностью какой-

либо конкретной АСУ ТП. Однако, этот метод содержит заведомо избыточный перебор всех возможных вариантов структуры.

С целью ограничения перебора предложен второй подход, основанный на предпосылке, что общая протяженность каналов связи будет минимальной, когда в состав магистралей сети будут входить самые короткие расстояния между отдельными ЛПС. Исходными данными, как и ранее, являются полносвязный граф G и матрица длин $L = ||l_{ij}||$. При этом производится анализ только q частичных графов, образованных на основании исходного. В качестве первой вершины графа последовательно выбирается каждая из ЛПС, а номера следующих вершин при обходе его устанавливаются путем анализа матрицы длин на минимум. Этот способ удобен для расчета информационной структуры на ранних этапах проектирования, а также для расчета структуры АСУ ТП с большим количеством подсистем.

На основании указанных подходов могут быть получены так же рекомендации относительно выбора места расположения центрального УВК на производственной территории.

Совмещение процедур определения длин линий, подходящих к отдельным ЛПС, и линейных размеров каналов связи, соединяющих их с центральным УВК, позволяет рассчитать общий расход кабеля в сети связи передачи информации, проектируемой АСУ ТП.

Вышеуказанный подход к построению сети связи АСУ ТП был использован для разработки инженерной методики технико-экономического расчета структуры, децентрализованной АСУ ТП, которая позволит выбрать вариант структуры системы близкий к оптимальному, по следующим трем, наиболее характерным при оценке системы, параметрам:

- Надежности (вероятности правильной передачи и преобразования информации);

- Быстродействию (в частности, полному циклу опроса всех источников (приемников) информации);

- стоимости (капитальным затратам на кабельные коммуникации и аппаратуру, включая центральный УВК и ряд локальных подсистем).

Методика расчета структуры, децентрализованной АСУ ТП нашла практическое применения при проектировании систем автоматизированного управления технологическими процессами производства оксидно-полупроводниковых конденсаторов, АСУ ТП изготовления исходного сырья при производстве керамических конденсаторов, системы управления автоматизированным контролем МДП-БИС и АСУ ТП термической обработки заготовок.

Литература

1. H.S. Witsenhausen, A.D. Wyner. A conditional Entropy Bound for a pair of discrete Random. Variatlas. IEEE Inform. Theory, vol. IT-21, September, N 5, 2004.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Артамонов Алексей Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Sedoyded1@yandex.ru.

Л.С. Беккель, В.Д. Шкилев

ПРИНЦИП ПАУЛИ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В МАКРОМИРЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Принцип Паули (принцип запрета) – один из фундаментальных принципов квантовой механики, согласно которому два и более тождественных фермиона (частиц с полуцелым спином) не могут одновременно находиться в одном квантовом состоянии. Принцип был сформулирован для электронов Вольфгангом Паули в 1925 г. в процессе работы над квантомеханической интерпретацией аномального эффекта Зеемана и в дальнейшем распространён на все частицы с полуцелым спином.[1]. Полное обобщённое доказательство принципа было сделано им в теореме Паули (теореме о связи спина со статистикой) в 1940 г. в рамках квантовой теории поля. Из этой теоремы следовало, что волновая функция системы фермионов является антисимметричной относительно их перестановок, поведение систем таких частиц описывается статистикой Ферми – Дирака. Классические поля, описывающие частицы с целым спином, квантуются по Бозе – Эйнштейну, а классические поля, описывающие частицы с полуцелым спином, квантуются по Ферми– Дираку. Фактически, это означает, что фермионы, то есть частицы с полуцелым спином, антисимметричны, то есть при «перестановке» двух частиц состояние всей системы меняет знак, а частицы с целым спином (бозоны) – симметричны и при «перестановке» двух частиц состояние всей системы не меняется [2]. Можно ли принцип Паули распространить на все элементы макромира? Какая технология позволяет это сделать? Нужна ли технология неповторимости макрообъектов?

Мало кто задумывается над простыми фактами – в природе расширенный принцип Паули использовался всегда – невозможно найти две одинаковые песчинки, две одинаковые снежинки (существуют многочисленные альбомы, подтверждающие их индивидуальность), два одинаковых растения и даже два одинаковых листочка. Тем более, не существует и два одинаковых человека. [3]

Остановимся на технологиях универсальной идентификации денежных купюр и других банковских документов, которые обладают универсальными метками с квантовым уровнем защиты [4-7]. Это подтверждено научным открытием в области квантовой механики [8]. В основе научного открытия лежит известное несколько сот лет явление искрового разряда. Во всех учебниках и монографиях на эту тему явление описано как стохастическое (неповторяемое). Исследовать проявление стохастичности считалось если и невозможным, то, по крайней мере, технологически бесполезным. Технологи, занимающиеся электроискровыми технологиями, вышли из этой ситуации просто – они не стали изучать начальную стадию формирования поверхности, а сразу принялись за создание многослойных покрытий, обеспечивающих нанесение на изделия износостойких твердых по-

крытий. Однако внутри этой стохастичности было обнаружено явление образования интерференции, которое, как известно, проявляется только в том случае, когда плазменные сгустки искрового разряда проявляют себя не как частицы, а как волновой процесс.

Идентификационные признаки, защищающие бумажные купюры известны в большом количестве. Однако они по своей сути основаны на типографских и других технологиях, которые всегда можно повторить. Первый шаг в нужном направлении сделали банки Швейцарии, применив нанесение на бумажные купюры перфорации. В России, помимо типографских методов нанесения номинала купюры, эту же информацию повторили и с помощью перфораций. В конце 2013 года в Москве практически во всех банковских автоматах, принимающих и выдающих банкноты 5000-го номинала, пришлось приостановить работу и затратить более миллиарда рублей на переоборудование банкоматов и усложнению методики проверки банкнот на истинность: на всех купюрах набор перфораций не отличался друг от друга. Другими словами, денежные купюры с повторяющимися перфорациями не придали им свойства индивидуальности и неповторимости.

Более значимым можно признать технологию защиты денежных купюр, при которой перфорации наносятся с помощью стохастического (случайного) процесса [9]. Стоит на одном квадратном сантиметре бумажной купюры нанести около 100 перфораций таким процессом и вероятность повторения такого набора оценивается математиками в 10⁻³⁵⁰.

Для сравнения напомним, что число частиц во Вселенной оценивается в 10⁹⁰. Можно всю планету усеять многокилометровым слоем бумажных купюр и ни на одной из них не повторится стохастическая картинка из электроразрядных перфораций. На рис.1 приведен характерный набор таких перфораций [10].

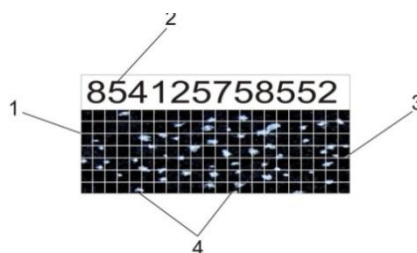


Рис. 1. Пример набора перфораций, полученных электроразрядным процессом: 1 – невоспроизводимая идентификационная метка, 2 – цифровой код, 3 – информационная сетка, 4 – электроразрядные перфорации.

Не только набор, но и каждая из сделанных перфораций обладает свойством неповторимости.

Разработана информационная технология на основе электронно-цифровой подписи, позволяющая с помощью криптографии зашифровать стохастический набор перфораций. [10] До этой разработки электронно-цифровая подпись применялась только для защиты виртуальной информации. Не существует ни одного случая в банковской сфере, ни одной успешной атаки со стороны злоумышленников на электронно-цифровую подпись.

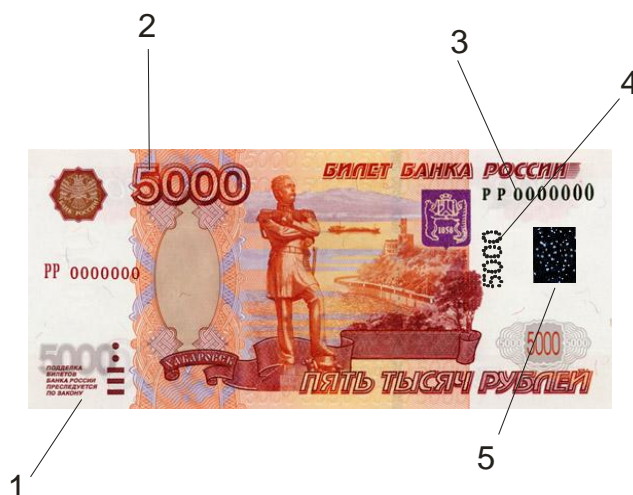


Рис. 2 Банкнота Российской Федерации с квантовым уровнем защиты:

1 – денежная купюра, 2 – номинал купюры, нанесенный методами полиграфии, 3 – цифровой код купюры, нанесенный методом полиграфии, 4 – номинал купюры, нанесенный с помощью воспроизводимых технологий, 5 – универсальная невоспроизводимая матрица, нанесенная электроразрядным способом.

Квантовый уровень технологий и здесь одерживает уверенную победу. Время на расшифровку такой технологии с помощью современных компьютеров превышает срок существования Вселенной.

Предложенный набор информационных технологий позволяет сегодня приступить к производству принципиально новых банковских банкнот, обладающих свойством неповторимости. Новая мировая валюта будет способна восстановить цивилизационный разрыв между промышленными и банковскими структурами и избежать «растворению в Ничто». Та страна, которая первая применит эту технологию, может перераспределить финансовые потоки мировой экономики в свою пользу.

Проанализируем возможности информационной защиты металлических материальных объектов с помощью универсальных идентификационных меток. Сегодня делается попытка сделать это с помощью цифровых кодов. Но все цифровые коды, наносимые на лопатки турбин и на все элементы машин не дают надежных результатов, а лишь имитирует процесс идентификации.

Попытки построить идентификационную систему на основе присвоения каждой детали своей уникальной матрицы (картинки) также не может дать результата. Отсутствие серьезного прогресса в математике, точнее в распознавании образов, не позволит за короткое время в многомиллионной базе данных найти нужный образ.

Только сочетание воспроизводимых цифровых кодов и невоспроизводимых матриц дает оптимальный результат по построению системы. По цифровому коду практически мгновенно находится нужный образ, а сравнение его с базовым информационным аналогом сразу дает ответ – перед нами легальный или фальсифицированный материальный объект. В основе таких технологий может лежать набор стохастических физических процессов, например, элек-

троразрядных, электрохимических. [4 – 7, 10 – 11]В связи с вышеизложенным, предлагается к рассмотрению следующая научная гипотеза:

Принцип Паули, который ранее считался применимым только к микромиру элементарных частиц, в полной мере может быть отнесен как ко всей природе, так и к технологиям универсальной идентификации, позволяющим добиваться неповторимости макрообъектов и приводящим к запрету существования макрообъектов с одинаковой универсальной идентификационной меткой.

Литература

1. Паули В.О связи между заполнением групп электронов в атоме и сложной структурой спектров// Труды по квантовой теории: Квантовая теория. Общие принципы волновой механики. Статьи 1920-1928. –М.: Наука, 1975. с.645-660.

2. Давыдов А.С. Квантовая механика. – М.: Наука, 1973. – 334 с.

3. Шкилев В.Д., Адамчук А.Н., Шкилев Д.В. О свойствах мироздания//Материалы XXII Международного научного симпозиума(Симферополь).– 2013. –С. 591 – 616.

4. Шкилев В.Д., Шкилева В.Д. О единстве хаоса и порядка, о единстве воспроизводимых и невозпроизводимых технологий//Исторические, философские, политические и юридические науки, Вопросы теории и практики. –2012. №8 (63). С. 174-175.

5. Шкилев В.Д. и др. Электроразрядный способ изготовления бумажных купюр. Патент Российской Федерации №2399496.

6. Шкилев В.Д. Способ изготовления штрих-кода. Патент Российской Федерации №2408929.

7. Шкилев В.Д. Способ внесения дополнительной технологической информации в идентификационную метку. Патент Российской Федерации №23978457.

8. Шкилев В.Д. Мартынюк Н.П., Адамчук А.Н. Научное открытие в области интерференции искрового разряда№421// Научные открытия 2011. Сборник кратких описаний научных открытий. – 2012.– С. 46-47.

9. Шкилев В.Д., Адамчук А.Н. Об уникальности набора электроразрядных перфораций// Электронная обработка материалов. Издательство Академии наук Республики Молдова. – 2009. – № 5.С. 4-5.

10. Пушняк Ю.А., Шкилев В.Д., Адамчук А.Н. Криптографически защищенный бумажный документ, способ его маркировки и способ его идентификации. Решение о выдаче патента по заявке РМ №20110042 от 2011.05. 11.

11. Моложен В.А., Шкилев В.Д., Редченко В.А.,и др. Денежная купюра, способ и установка для подтверждения ее истинности.Патент РФ №2496145 с приоритетом от 26 августа 2009 года.

Беккель Людмила Сергеевна - ассистент кафедры "Инженерная графика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.Е-mail: milla2606@rambler.ru.

Шкилев Владимир Дмитриевич - канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.Е-mail: vladimir-schilev@mail.ru.

А.К. Горбунов, М.И.Клочкова, Г.Э.Амеличев

ПРОБЛЕМЫ ИЗБЫТОЧНОСТИ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ КОММУТАЦИИ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В докладе представлены результаты решения задачи определения числа избыточных процессоров в группах управляющих элементов системы цифровой коммутации. Особенностью исследования является учет интенсивности отказов процессоров с ростом их загрузки.

В системах цифровой коммутации (СЦК) функций управления осуществляют распределенные по системе управляющие элементы (УЭ). Физические УЭ реализуются микропроцессорами. Как правило группа микропроцессоров выполняет одну или несколько взаимосвязанных функций управления. Число процессоров в группе определяется интенсивностью потока вызовов, поступающего на СЦК и временем, выполнения микропроцессором управляющих задач.

В процессе функционирования процессоры могут выходить из строя. В этом случае оставшиеся процессоры берут на себя дополнительную нагрузку. Отсюда следует, что число процессоров в группе выбирается с избыточностью. В данной работе представлены результаты исследования задачи определения числа управляющих процессоров в СЦК. Особенностью работы является то, что число избыточных процессоров определяется в условиях увеличения интенсивности отказов процессоров при росте их загрузки.

В работе [1] была исследована упрощенная математическая модель группы управляющих элементов как системы процессоров. Предполагается, что на выход системы поступает простейший поток запросов с интенсивностью λ . В свою очередь обслуживание каждым процессором производится с параметром μ за экспоненциально распределенное время. Отказоустойчивость группы управляющих процессоров обеспечивается введением избыточных процессоров, восстановлением отказывающих в процессе продолжающего функционирования оставшихся в группе. В модели учитывался поток отказов каждого процессора с параметром q , а также поток восстановления с параметром ν . Все распределения отмеченных случайных величин полагались экспоненциальными. Вероятность отказа в обработке запроса $P_{отк}$ выражается через две составляющие:

P_k - вероятность того, что k процессоров в любой момент времени находятся в нерабочем состоянии.

P_k - вероятность того, что в любой момент времени обслуживанием заняты k процессоров.

Для вычисления этих вероятностей были составлены две системы уравнений, которые описаны в работе [1].

Далее, учитывая нормирующие условия, была получена общая вероятность отказа в обслуживании заявок системой

$$P_{отк} = \sum_{s=0}^n P_{ks} + \frac{\sum_{k=1}^n P_{ks}}{\lambda}$$

В работах [1,2] на этой модели было исследование влияние интенсивности q физических отказов процессоров на вероятность отказа в обслуживании вызовов при разном характере зависимости q от загрузки процессора $\rho = \lambda/\mu$. анализировались зависимости q от ρ - линейная и квадратичная. Введение функциональной зависимости q от ρ приводит к увеличению $P_{отк}$ в обслуживании вызовов. В диапазоне изменения нагрузки ρ от 0,2 до 0,8 наблюдалась инвариантность вероятности отказа в обслуживании вызовов к виду функциональной зависимости -линейной или квадратичной. Разница становится существенной при малой интенсивности восстановления неисправных процессоров и больших нагрузках. В/И/ видно, что при $\rho = 0,95$ квадратичная зависимость приводит к более резкому увеличению вероятности отказа по сравнению с линейной.

Исследованная модель предполагала независимость интенсивности λ поступления вызовов от числа занятых источников вызовов (линий), т.е. источников, отдавших свои запросы на обработку процессором. В действительности по мере роста числа занятых источников уменьшается число свободных абонентов, способных генерировать новые запросы. В этом случае интенсивность λ поступления вызовов не остается неизменной и это явление необходимо учесть, поскольку любая система коммутации работает с конечным числом абонентов(линий).

С этой целью, по аналогии с предыдущей моделью, составим систему уравнений, описывающую ненадежную многопроцессорную систему с конечным числом источников вызовов. Таким образом систему уравнений для отыскания вероятности P_k оставляем без изменения, а вероятность P_k определяется из следующей системы уравнений:

$$\lambda_k P_k = (\lambda + \mu_k) P_{k+1} - \mu_k P_k, \quad 1 \leq k < n$$

При этом $\lambda_k = (N - k)\alpha$, $K=0,1,\dots,n-1$
 $\lambda_n = 0$

Конечное число источников обозначим через N , а интенсивность поступления вызовов от свободных источников через α .

Вероятность отказов в обслуживании определяется отношением числа требований, не получивших обслуживание в момент обращения к процессорам или потерянным в результате отказов к общему числу поступивших вызовов:

$$P_{\text{отк}} = \frac{\sum_{s=0}^n N_s \rho_s^k + \sum_{k=1}^n K_k \rho^k}{\sum_{s=0}^n N_s \rho^s}$$

На основе разработанной модели были построены зависимости $P_{\text{отк}}$ от $\rho = N_a/\mu$ в предположении линейной и квадратичной зависимостей, а также кривые отражающие влияние числа процессоров в группе на вероятность отказа в обслуживании заявок. Характерно, что, начиная с определенного числа процессоров дальнейшее их увеличение не приводит к увеличению вероятности отказа и, следовательно, нецелесообразно. Из сравнения результатов исследования обеих систем следует, что и здесь, как в случае неограниченного источника запросов, сохраняется сделанные ранее выводы относительно влияния зависимостей отказов $q=f(\rho)$ на $P_{\text{отк}}$ эти выводы позволяют вести анализ многопроцессорной системы с отказами на основе использования более простой модели с линейной зависимостью q от ρ .

Литература

1. J.R. Mamos , «A Class of Fidelity Criteria for the Encoding of Visual Images». Ph.D. Thesis, Univ, of Calif.6 Bereley, Dec.2002

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Клочкова Мария Игоревна-студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: oleola10@yandex.ru.

Амеличев Глеб Эдуардович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

И.Ж. Безбах, Б.Г. Захаров, В.И. Стрелов

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ВЫРАЩИВАНИЯ БИОКРИСТАЛЛОВ С АКТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПРОЦЕССОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

На основе цикла проводимых исследований авторы разрабатывают и реализуют метод управляемой кристаллизации белков, который обеспечивает оперативное разделение процессов зародышеобразования и роста образовавшихся кристаллов. Этот метод не требует большого количества растворов белков, исключает возможность повреждения кристаллов при проведении дифракционных исследований. В конструкцию оборудования заложен модульный принцип компоновки: увеличение производительности установок сводится к простому наращиванию однотипных блоков, базовая конструкция модулей допускает модернизацию и модификацию для наращивания числа ростовых ячеек и дооснащения диагностическим и контрольно-измерительным оборудованием.

Кристаллы белков используются для определения пространственной структуры этих сложных молекул методом рентгеноструктурного анализа. Данные о пространственной структуре необходимы для разработки эффективных лекарственных средств нового поколения и изучения механизмов развития заболеваний. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в последнее время в методах получения пригодных для рентгеноструктурного анализа белковых кристаллов, именно стадия кристаллизации до сих пор остается наименее предсказуемой и часто определяет успешность всех сил и средств, затрачиваемых на исследование пространственной структуры белков.

Выбор условий кристаллизации белков в настоящее время проводится в основном эмпирически, путем осуществления многочисленных проб в различных условиях (т.н. «скрининг») [1–2]. При этом работа в значительной степени осложняется тем, что начало кристаллизации (зародышеобразование) требует значительно большего пересыщения раствора белка (до 5–10 раз), чем последующий рост образовавшихся зародышей. По этой причине большое значение имеет реализация таких методов кристаллизации, которые позволяли бы управлять пересыщением белкового раствора как в процессе зарождения, так и последующего наращивания кристаллов [3]. В силу сложившихся обстоятельств, большая часть экспериментов по кристаллизации белков выполняется при отсутствии необходимой информации о ходе процесса кристаллизации. В среднем в 20–40% опытов кристаллы вообще не могут быть получены или оказываются значительно худшего качества по сравнению с аналогами.

Как было показано ранее [3], способ температурного управления процессами кристаллизации белка является значительно более технологичным и более эффективным для выращивания высокосовершенных кристаллов по сравнению с традиционными методами, при этом исключается конвекция в растворе, а также практически устраняется влияние вибраций на процессы кристаллизации, и таким образом в земных условиях обеспечивается максимально возможное приближение к диффузионным условиям переноса в растворе белка. Управление температурой влияет на растворимость белков и скорость роста кристаллов, оставляя концентрацию неизменной. При этом появляется возможность регулировать количество зародышей и скорость роста кристаллов, тем самым процесс кристаллизации становится управляемым и воспроизводимым.

На основе проведенного анализа существующих методов кристаллизации и известной и используемой в мире аппаратуры для кристаллизации белков был сделан вывод о необходимости создания автоматизированной установки с управлением температурой процессами зарождения и кристаллизации белков, как наиболее эффективной для получения высокосовершенных белковых кристаллов [4]. Для эффективного использования такой установки для получения кристаллов различных белков с температурным управлением процессами зародышеобразования и кристаллизации необходимо иметь исходные данные о температурной зависимости растворимости этих белков, которые, как правило, для новых типов белков отсутствуют в литературе. Поэтому в качестве объекта экспериментов был выбран широко применяемый как модельный белок лизоцим, чьи физические параметры и температурные зависимости хорошо известны [4], что позволяет эффективно планировать и осуществлять кристаллизационные эксперименты.

На основе проведенных исследований и экспериментов была разработана простая по конструкции маломассогабаритная (массой до 5 кг и объемом 4–5 дм³) ростовая установка, обеспечивающая в течение одного цикла рост кристаллов белков в капиллярах при минимальном расходе растворов белков.

В таблице представлены определенные массогабаритные параметры и энергетические характеристики установки (табл. 1):

Таблица 1

Наименование	Значение
Масса макета аппаратуры (кг), не более	5,0±0,25
Габаритные размеры макета аппаратуры (мм), не более:	180x150x150
Количество капилляров, не менее	6
Объем капилляра, мкл	10–15
Электропитание, В	28±0,5
Энергопотребление в установившемся режиме, Вт	≤30 Вт

Меняющимся параметром в экспериментах является температура в точке отвода тепла. Аппаратура должна поддерживать ее постоянной и достаточной для зародышеобразования и кристаллизации, вызываемой разностью температур (4–40°C), или менять ее до заданной температуры, начиная с расчетного момента зародышеобразования; при этом в окружающей среде создается температура, предотвращающая зародышеобразование и кристаллизацию (35°C). Следует отметить, что, так как требуется повышение растворимости, необходимо и повышение температуры [5].

На основе разработанной простой по конструкции маломассогабаритной установки-кристаллизатора были успешно проведены серии экспериментов по получению кристаллов белка лизоцима с совершенной структурой, пригодной для рентгеноструктурного анализа.

Разработанный образец научной аппаратуры практически, в условиях эксперимента по росту кристаллов лизоцима в капиллярах из растворов, реализует метод температурно-управляемой кристаллизации белков. Этот метод за счет использования рентгеновских капилляров не требует большого количества растворов белка, исключает возможность повреждения кристаллов при проведении дифракционных исследований. Был успешно реализован алгоритм автоматического изменения температуры, позволяющий по определенному закону приближаться к требуемому пересыщению.

Существующие версии кристаллизационной аппаратуры оснащены лишь системой активного терморегулирования и средствами оптического контроля и диагностики. Дальнейшими планами предусматривается постепенное дооснащение оборудования специализированными системами диагностики и контроля: прежде всего, системой качественной видеосъемки с использованием простейших микроскопов, затем лазерными системами диагностики для раннего выявления зародышеобразования.

Для эффективного функционирования такой автоматизированной установки кристаллизации белков планируется создание отдельной вспомогательной и в то же время автономной установки для лазерной диагностики процессов зародышеобразования и для определения температурной зависимости растворимости исследуемых белков.

Можно сделать вывод, что все требования, предъявляемые к существующей научной аппаратуре для активного управления процессом кристаллизации белков, авторами успешно удовлетворены. Дальнейшее совершенствование разработанного ростового оборудования ожидается по направлениям его модульности и высокой производительности, совершенствования средств контроля и диагностики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (грант № 14-42-03119).

Литература

1. Куранова И.П. Кристаллизация белков на земле и в невесомости // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. — 2004. — № 7. — С. 4–12.
2. Chayen N.E. Turning protein crystallisation from an art into a science // Current Opinion in Structural Biology. — 2004. — V. 14. — P. 577–583.
3. Безбах И.Ж., Косушкин В.Г., Захаров Б.Г., Стрелов В.И., Артемьев В.К., Гинкин В.П., Фоломеев В.И. Оптимизация роста кристаллов белков с применением метода теплового управления // Методы исследования и проектирования сложных технических систем: Сборник статей (Труды МГТУ №592) — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2006. — С. 18–26.
4. Rosenberger F., Howard S.B., Sowers J.W., Nyce T.A. Temperature dependence of protein solubility – determination and application to crystallization in X-ray capillaries // Journal of Crystal Growth. — 1993. — V. 129. — P. 1–12.
5. Стрелов В.И., Захаров Б.Г., Безбах И.Ж., Сосфенов Н.И. Кристаллизация белка лизоцима в прецизионно-управляемом градиенте температуры // Кристаллография. — 2008. — Т. 53, № 1. — С. 145–148.

Безбах Илья Жанович – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ilya.bezbakh@gmail.com.

Захаров Борис Георгиевич – д-р техн. наук, главный научный сотрудник Филиала Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН НИЦ "Космическое материаловедение". E-mail: zakharov@kaluga.rosmail.com.

Стрелов Владимир Иванович – д-р физ.-мат. наук, директор Филиала Института кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН НИЦ "Космическое материаловедение". E-mail: strelovvi@kaluga.ru.

А.К. Горбунов, О.К. Космынина

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ ПО НАБЛЮДЕНИЮ СИГНАЛОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Найден квазиоптимальный алгоритм распознавания образов при наблюдении некоторых сигналов, с ними связанных. Задача решена для случая, в котором закон распределения сигналов одинаков для всех распознаваемых ситуаций, но зависит от информативных параметров, статически различных в этих ситуациях, а также от дополнительных параметров неизвестной «обстановки», в которой производится распознавание. Приведен пример применения и анализ качества получающегося алгоритма.

Распознавание образов (объектов, процессов, ситуаций) всегда происходит на основе наблюдения некоторых физических сигналов-носителей информации об этих «образах»

Законы распределения вероятностей, вообще говоря, случайных наблюдаемых сигналов обычно известны не полностью, а в лучшем случае, с точностью до совокупности параметров "обстановки", в которой происходит распознавание. Оптимальные алгоритмы распознавания совместно с оценкой неизвестной обстановки в случае, когда в разных ситуациях законы распределения сигналов различны, были найдены в работе /1/.

В докладываемой работе синтезируется алгоритм распознавания образов в случае, когда во всех ситуациях закон распределения наблюдаемых сигналов одинаков и зависит как от неизвестных параметров обстановки. Так и от некоторых информативных параметров. Последние для различных распознаваний ситуаций могут и совпадать, но их законы распределения для этих ситуаций различны.

При произвольной функции потерь составлен средний риск, связанный с распознаванием образов. В предположении о малости ошибок оценки информативных параметров и параметров обстановки этот средний риск вычислен приближенно и минимизирован выбором гипотез о распознаваемых ситуациях.

Алгоритм выбора J -го образа ($J = 1, 2, \dots, m$) имеет при этом вид: $\sum_{i=1}^m w_{ij} p_i Q_i(x, \lambda^*) \leq \sum_{i=1}^m w_{ij} p_i Q_i(x, \lambda^*)$ при любых $j \neq 3$.

Здесь w_{ij} - потери при выборе j -го образа, тогда как в действительности имеет место i -ая ситуация; p_i - априорная вероятность i -ой ситуации;

$$Q_i(x, \lambda^*) = \begin{cases} p'_i(\lambda^*) \text{ при } \lambda^* \in \bigvee_{i=1}^m \lambda_i \\ \max P(x/\lambda, \alpha), \lambda \in \lambda_i, \alpha \text{ при } \lambda^* \notin \bigvee_{i=1}^m \lambda_i \end{cases}$$

$p'_i(\lambda)$ - априорная плотность вероятности информативных параметров $\lambda = \{\lambda_1, \dots, \lambda_k\}$ - в i -ой ситуации; $\lambda^*(x)$ - оценка максимального правдоподобия вектора λ , полученная совместно с оценкой вектора параметров обстановки $\alpha = \{\alpha_1, \dots, \alpha_r\}$, т.е. с помощью решения системы уравнений

$$\frac{\partial}{\partial \beta^i} \ln P\left(\frac{x}{\beta}\right) = 0, (i = 1, 2, \dots, k + r),$$

где $\beta = \{\alpha, \lambda\}$ - составной вектор, а $P\left(\frac{x}{\beta}\right)$ - представляет собой закон распределения вероятностей для наблюдаемых данных (сигнала) $x = \{x_1, \dots, x_n\}$.

Для двувальтернативных задач алгоритм принятия I -го решения (образ с номером I) приводится к виду $\frac{Q_1(x, \lambda^*)}{Q_2(x, \lambda^*)} \geq \frac{p_2 w_{21} - w_{22}}{p_1 w_{12} - w_{11}}$

При выполнении противоположного неравенства принимается второе решение.

Приведенный алгоритм проиллюстрирован примером распознавания сигналов с различающимися законами распределения амплитуд, обладающих случайными фазами, при приеме этих сигналов в шумах. Предполагается, что случайные фазы не несут информации о классе объекта, при наличии которого получен сигнал, шумы являются гауссовскими.

Законы распределения амплитуд представлены в виде

$$p'_i(\lambda) = \frac{1}{n_i!} \left(\frac{\lambda^2}{2\sigma_i^2}\right)^{n_i} e^{-\frac{\lambda^2}{2\sigma_i^2}} \frac{\lambda}{\sigma_i^2}, i = 1, 2; 0 \leq \lambda \leq \infty$$

Выбором параметров $n_1, n_2, \sigma_1, \sigma_2$ можно обеспечить описание широкого класса распределений вероятности.

Найден вид алгоритма распознавания, соответствующего указанным сигналам и параметрам и рассчитаны вероятности правильного распознавания первой и второй ситуаций.

Физически рассмотренная задача может относиться, например, к случаю распознавания объектов одинаковой формы на основании наблюдения отраженных от них радиолокационных сигналов при различающихся статически отражающих поверхностях объектов.

Литература

1. В. Mc Millan. The basic theorems of information theory. Ann, off Math. Stat. 74.196-219, 2003

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Космынина Ольга Константиновна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: olgaborisova2011.borisova@yandex.ru.

А.К.Горбунов, В.В.Калманович, Ю.А.Гладышев

РАСЧЁТ СТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛАСТИНЕ ПРИ НАЛИЧИИ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ИСТОЧНИКОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. В настоящее время многослойные конструкции весьма распространены в строительстве и технике, так как позволяют решать вопросы энергосбережения, пожароустойчивости, радиационной безопасности и др. Однако математическое моделирование процессов теплопереноса в многослойных средах проводится как правило только для двух-трёх слоёв, что связано с практическим отсутствием точных аналитических методов решения задачи переноса, большой трудоёмкостью численных методов. В данном сообщении предлагается аналитический метод решения неоднородного стационарного уравнения теплопроводности для многослойной среды, построенный на применении аппарата обобщённых степеней Берса [1]. Метод основан на матричном решении задачи Коши.

Постановка задачи. Пусть задана многослойная среда (рис. 1).

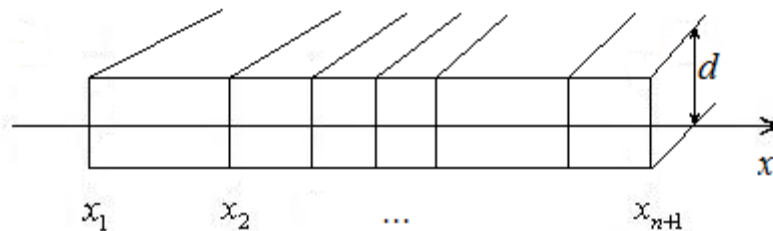


Рис.1. Многослойная пластина толщиной d . Число слоёв n . Нумерация слоёв идёт по левой координате.

Рассмотрим одномерный стационарный процесс теплопереноса в этой среде, заданный уравнением

$$D_2^{(i)} D_1^{(i)} \Phi^{(i)}(x) - m_i^2 \Phi^{(i)}(x) = \mu^{(i)}(x), \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где потенциал $\Phi^{(i)}(x)$ – искомая функция,

$$D_1^{(i)} = a_1^{(i)}(x) \frac{d}{dx}, \quad D_2^{(i)} = a_2^{(i)}(x) \frac{d}{dx}, \quad (2)$$

$a_1^{(i)}(x)$, $a_2^{(i)}(x)$ – положительные функции, определённые физическими и геометрическими параметрами слоёв, $\mu^{(i)}(x)$ – объёмная плотность мощности распределения источников, i – номер слоя.

Поток определяется формулой

$$I^{(i)}(x) = -D_1^{(i)} \Phi^{(i)}(x) \quad (3)$$

В точке контакта слоёв задаются условия непрерывности потенциала и потока

$$\Phi^{(i)}(x_{i+1}) = \Phi^{(i+1)}(x_{i+1}), I^{(i)}(x_{i+1}) = I^{(i+1)}(x_{i+1}). \quad (4)$$

И пусть заданы значения потенциала $\Phi^{(1)}(x_1)$ и потока $I^{(1)}(x_1)$, т.е. для уравнения (1) поставлена задача Коши.

Метод расчёта. Введём вектор-столбцы V , W и матрицу K

$$V^{(i)}(x) = \begin{pmatrix} \Phi^{(i)}(x) \\ I^{(i)}(x) \end{pmatrix}, W^{(i)}(x) = \begin{pmatrix} w^{(i)}(x) \\ -D_1^{(i)} w^{(i)}(x) \end{pmatrix},$$

$$K^{(i)}(x, x_i) = \begin{pmatrix} \operatorname{ch} mX_i(x, x_i) & -\frac{1}{m} \operatorname{sh} mX_i(x, x_i) \\ -m \operatorname{sh} m\tilde{X}_i(x, x_i) & \operatorname{ch} m\tilde{X}_i(x, x_i) \end{pmatrix}, \quad (5)$$

где $w^{(i)}(x)$ – частное решение уравнения (1) для i -ого слоя, $X_i(x, x_i)$, $\tilde{X}_i(x, x_i)$ – соответственно обобщённая степень и присоединённая-обобщённая степень на интервале (x_i, x_{i+1}) .

В работе [2] было показано, что

$$V^{(i)}(x) = L^{(i,1)}(x, x_1)V^{(1)}(x_1) + \sum_{j=1}^i L^{(i,j)}(x, x_j)(W^{(j-1)}(x_j) - W^{(j)}(x_j)) + W^{(i)}(x), \quad (6)$$

где

$$W^{(0)}(x_1) = 0,$$

$$L^{(i,j)}(x, x_j) = K^{(i)}(x, x_i)K^{(i-1)}(x_i, x_{i-1}) \dots K^{(j)}(x_{j+1}, x_j), \quad i \geq j. \quad (7)$$

Если решения $W^{(i)}(x)$ непрерывны и имеют непрерывную производную по Берсу, то все промежуточные слагаемые в (6) исчезают.

Введём понятие общей K -матрицы всей системы слоёв

$$K^{(u)}(x_{n+1}) = L^{(n,1)}(x_{n+1}, x_1) \quad (8)$$

и вектор дополнительных потоков

$$W^{(u)}(x_{n+1}) = \sum_{j=1}^n L^{(n,j)}(x_{n+1}, x_j)(W^{(j-1)}(x_j) - W^{(j)}(x_j)) + W^{(n)}(x_{n+1}). \quad (9)$$

Тогда, согласно (6), в конечной точке системы слоёв получим

$$V(x_{n+1}) = K^{(u)}(x_{n+1})V^{(1)}(x_1) + W^{(u)}(x_{n+1}). \quad (10)$$

Формула (10) позволяет при заданных $\Phi^{(1)}(x_1)$, $\Phi^{(n)}(x_{n+1})$ найти $I^{(1)}(x_1)$, т.е. даёт связь решений задачи Коши и первой краевой задачи.

Результаты расчётов. По описанному методу проведены вычисления в математическом пакете Maple для стационарного процесса переноса тепла

в многослойной пластине толщиной $d = 0.01$ м. Рассчитывалась первая краевая задача при нулевой температуре внешней среды ($T_1 = T_{n+1} = 0$ K) для уравнения

$$\frac{d^2 T^{(i)}}{dx^2} - m_i^2 (T^{(i)} - T_e^{(i)}) = 0, \quad (11)$$

где $m_i^2 = 1 / (a_1^{(i)} a_2^{(i)})$, функции $a_1^{(i)} = d \lambda^{(i)}$, где $\lambda^{(i)} = const$ – коэффициент теплопроводности материала i -го слоя, $a_2^{(i)} = 1 / \chi^{(i)}$, где $\chi^{(i)} = const$ – коэффициент теплообмена материала i -го слоя с внешней средой, $T_e^{(i)}$ – температура внешнего источника в i -ом слое. В приводимых результатах расчётах $m_i = 1$.

На рис.2 и рис.3 представлены графики изменения температуры вдоль координаты x при различных значениях параметров слоёв. При ничтожно малой длине слоёв с внешними источниками относительно длин слоёв без внешних источников, т.е. когда источник тепла можно считать точечным, на графике температуры слоистой среды видны в этих точках характерные пики. В случае, когда параметры слоёв заданы симметрично, график температуры также приобретает симметричный вид (рис.3), что согласуется с физическим смыслом процесса.

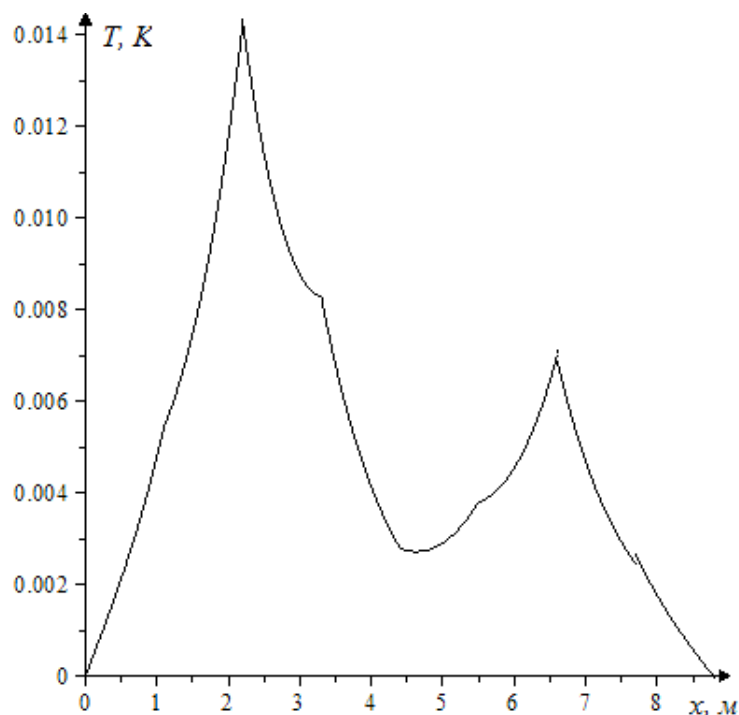


Рис.2. График $T(x)$ для уравнения (11) при наличии внешних источников в третьем и восьмом слоях: $T_e^{(3)} = 600$ K, $T_e^{(8)} = 300$ K. Параметры слоёв:

1) $x \in [0, 1.1]$, $\lambda = 209$, 2) $x \in [1.1, 2.2]$, $\lambda = 367$,

- 3) $x \in [2.2, 2.201]$, $\lambda = 15.5$, 4) $x \in [2.201, 3.3]$, $\lambda = 367$,
 5) $x \in [3.3, 4.4]$, $\lambda = 15.5$, 6) $x \in [4.4, 5.5]$, $\lambda = 67.5$,
 7) $x \in [5.5, 6.6]$, $\lambda = 367$, 8) $x \in [6.6, 6.601]$, $\lambda = 15.5$,
 9) $x \in [6.601, 7.7]$, $\lambda = 367$, 10) $x \in [7.7, 8.8]$, $\lambda = 209$,

где λ [$Вт / (м \cdot К)$] – коэффициент теплопроводности.

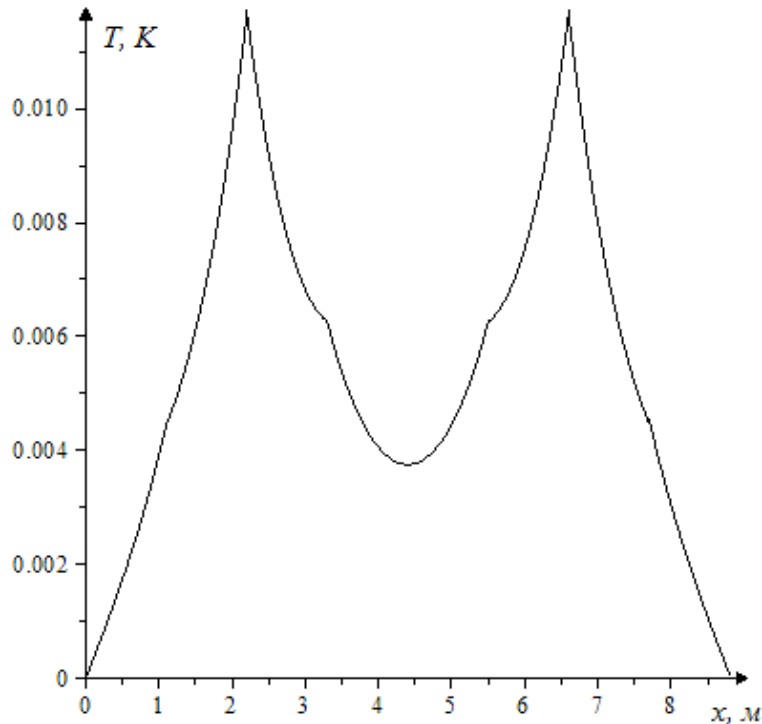


Рис.3. График $T(x)$ для уравнения (11) при наличии внешних источников в третьем и восьмом слоях: $T_6^{(3)} = 500 К$, $T_6^{(8)} = 500 К$. Параметры слоёв:

- 1) $x \in [0, 1.1]$, $\lambda = 209$, 2) $x \in [1.1, 2.2]$, $\lambda = 367$,
 3) $x \in [2.2, 2.201]$, $\lambda = 15.5$, 4) $x \in [2.201, 3.3]$, $\lambda = 367$,
 5) $x \in [3.3, 4.4]$, $\lambda = 67.5$, 6) $x \in [4.4, 5.5]$, $\lambda = 67.5$,
 7) $x \in [5.5, 6.6]$, $\lambda = 367$, 8) $x \in [6.6, 6.601]$, $\lambda = 15.5$,
 9) $x \in [6.601, 7.7]$, $\lambda = 367$, 10) $x \in [7.7, 8.8]$, $\lambda = 209$,

где λ [$Вт / (м \cdot К)$] – коэффициент теплопроводности.

Выводы. Предлагаемый метод дает аналитическое решение задачи теплопереноса для многослойной среды и позволяет моделировать приближённые решения для большого числа слоёв.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки РФ (базовая часть государственного задания, задание №340/2015, проект №1416).

Литература

1.Гладышев Ю.А. Метод обобщённых степеней Берса и его приложение в математической физике. Монография.– Калуга: Издательство Калужского государственного университета им.К.Э.Циолковского, 2011, 204с.

2.КалмановичВ.В. О построении решений задач теории переноса в многослойной среде при наличии распределённых источников. Современные методы прикладной математики, теории управления и компьютерных технологий: сб.тр. VIIIМеждунар.конф. «ПМТУКТ–2015», Воронеж: Издательство «Научная книга», 2015, с.166-169.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук,заведующий кафедрой "Физика"КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Калманович Вероника Валерьевна -старший преподаватель КГУ им. К.Э. Циолковского.E-mail: veronique@ukr.net.

Гладышев Юрий Александрович - канд. физ.-мат. наук,доцентКГУ им. К.Э. Циолковского.E-mail: v572264@yandex.ru.

А.К. Горбунов, И.Р. Бережанский

СГЛАЖИВАНИЕ ЗАШУМЛЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

КФМГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается задача сглаживания зашумленных изображений. Предлагается модель изображения в виде составного источника, имеющего несколько состояний, соответствующих как изотропной, так и анизотропной структуре фрагмента изображения. Модель может описывать локально-анизотропную структуру изображений, изотропных в целом. На основе этой модели строится оптимальный по среднеквадратичному критерию алгоритм сглаживания изображений, искаженных аддитивным гауссовским шумом.

1. Сглаживание зашумленных изображений представляет собой важную частную задачу восстановления изображений и (или) улучшения их качества.

Возможность сглаживания изображения обусловлена различием статистических свойств изображения и шума. Следовательно, чтобы разработать сглаживающий алгоритм необходимо располагать описанием этих свойств в явной форме. Такое описание легко получить, если имеются конструктивные модели источников изображений и шумов.

В этой работе вводится локально-анизотропная (но изотропная в среднем) модель составного источника изображений в которой вероятность фрагмента изображения и, следовательно, его структура зависят от состояния источника, а это состояние управляется некоторым случайным процессом.

2. Одноцветное неподвижное изображение может быть описано как распределение яркости $u(t)$, где $t = (t^1, t^2)$ - координаты точек плоскости изображения. Будем рассматривать далее только дискретизированные изображения с целочисленными координатами, когда $t^1, t^2 = \dots - 1, 0, 1, \dots$

Ансамбль изображений представляет собой случайное поле. Пусть $P(u)$ - n -мерная совместная плотность вероятности фрагмента изображения $u = \{u(t_1), u(t_2), \dots, u(t_n)\}$, состоящего из элементов.

Допустим, что источник изображения может находиться в различных состояниях θ ($\theta = 1, \dots, M$). Пусть номер состояния есть случайная величина с

известным распределением вероятности $\pi(\theta)$ ($\sum_{\theta=1}^M \pi(\theta) = 1$). Тогда

$$P(u) = \sum_{\theta=1}^M P_{\theta}(u) \pi(\theta) \quad (1)$$

где $P_{\theta}(u)$ - n -мерная плотность вероятности фрагмента при заданном состоянии источника.

Выражение (1) есть разложение плотности $P(u)$ по системе плотностей $P_\theta(u), \theta = 1, \dots, M$. Такое представление особенно полезно, когда $P(u)$ можно хорошо аппроксимировать с помощью небольшого набора гауссовских распределений

$$P_\theta(u) = C_\theta \exp\left\{-\frac{1}{2}(u, R_\theta^{-1}u)\right\}, \theta = 1, \dots, M,$$

где C_θ - константа нормировки, R_θ^{-1} - матрица, обратная ковариационной матрице R_θ , соответствующей состоянию источника θ .

Различные ковариационные матрицы R_θ описывают разную статистическую структуру фрагмента изображения, проявляющуюся в характере корреляционных связей его элементов.

Матрицы R_θ (или R_θ^{-1}) и распределение вероятностей $\pi(\theta)$ находились в ходе статистических измерений набора реальных изображений.

3. Пусть наблюдается изображение с аддитивно наложенным на него независимым от изображения гауссовским шумом, с известной ковариационной матрицей N . Требуется найти оптимальную (в смысле среднеквадратического отклонения) оценку $\hat{u}(t)$ элемента изображения $u(t)$ поэлементарному фрагменту наблюдаемого изображения $U_t = \{U(t + \tau_0), U(t + \tau_1), \dots, U(t + \tau_{n-1})\}$, где $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_{n-1}$ - заданные точки, лежащие в окрестности точки $\tau_0 = (0, 0)$.

Используя выражение (1) можно найти оценку

$$\hat{u}(t) = \sum_{\theta=1}^M \pi(\theta | U_t) \hat{u}_\theta(t) \quad (2)$$

Величина $\hat{u}_\theta(t)$ есть условная оценка $u(t)$ при заданном состоянии источника. Оценка $\hat{u}(t)$ есть взвешенная сумма условных оценок $\hat{u}_\theta(t)$. Вес каждой условной оценки есть апостериорная вероятность состояния θ при данном фрагменте U_t . Для $\hat{u}_\theta(t)$ получим известную формулу Винера:

$$\hat{u}_\theta(t) = \sum_{l=1}^n [(E + NR_\theta^{-1})^{-1}]_{ll} U(t_l)$$

где E - единичная матрица и $[A]_{ll}$ обозначает элемент матрицы A . Апостериорная вероятность состояния

$$\pi(\theta | U_t) = \frac{\pi(\theta) \exp\left\{-\frac{1}{2}(U_t, R_\theta^{-1}(E + NR_\theta^{-1})^{-1}U_t)\right\}}{\sum_{\theta=1}^M \pi(\theta) \exp\left\{-\frac{1}{2}(U_t, R_\theta^{-1}(E + NR_\theta^{-1})^{-1}U_t)\right\}}$$

Алгоритм (2) может быть интерпретирован следующим образом: каждое состояние источника соответствует некоторой структуре фрагмента изображения. Для каждой структуры применяется специфический режим сглаживания, осуществляемый соответствующим линейным

фильтром. Если, например, при некотором θ матрица R_θ^{-1} описывает только горизонтальные корреляционные связи, то и оценка $\hat{u}_\theta(t)$ должна получаться сглаживанием только в горизонтальном направлении.

4. Изображения размером 128×128 элементов, квантованные на 64 уровня (6 бит), вводились и выводились с помощью сканирующего и записывающего устройств.

Для моделирования зашумленного изображения на оригинал накладывался белый гауссовский шум, генерируемый ЦВМ по методу, использующему БПФ.

Наблюдаемый фрагмент имел 5×5 элементов, причем оцениваемый элемент находился в центре фрагмента. Предполагалось, что источник может находиться в одном и том из пяти состояний и использовались пять матриц R_θ^{-1} , одна из которых соответствовала “изотропным” корреляционным связям и четыре были анизотропными.

Моделировалось также Винеровское сглаживание изображения.

Сравнение сглаженных изображений показывает, что алгоритм (2) приводит к меньшей нерезкости изображения, чем алгоритм Винера и следовательно, использованная модель более адекватна структуре изображения, чем гауссовская модель.

Литература

1. K.L.Chung. A note of the ergodic theorem of information theory, Ann, of Math. Stat, [82, p. 612-614], 2012.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Бережанский Иван Романович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: berezhanskiy.ivan@mail.ru.

А.К. Горбунов, Д.Н. Волчѐнков, А.И. Чухраева

СЕТИ СВЯЗИ С ПРЕДОСТАВЛЕНИЕМ РЕСУРСОВ ПО ТРЕБОВАНИЯМ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Устроение избыточности ресурса в СС с много стационарным доступом к ретранслятору (РТР) связано с переходом от его фиксированном закреплении за пользователями к режиму ПРТ. Реализация принципа ПРС в СС требует автоматизации управления ими. Оценить эффективность функционирования СС с ПРТ с учетом качества ее автоматизированной системы управления позволяет методика, основывающаяся на вычислении обобщенного показателя эффективности функционирования вида:

$$P(\phi) = P[(Y(\text{св}) < Y(\text{св тр})) \cap (Y(y)_{\text{местная}} < Y(y \text{ тр}))],$$

где $P(\phi)$ - вероятность соответствия СС в ПРТ своему функциональному назначению, P – совместная вероятность выполнения требований к связи и управлению в СС о ПРТ, $Y(\text{ов})$, $Y(\text{ов тр})$, $Y(y)$, $Y(y \text{ тр})$ – векторы показателей качества связи и управления и требований к ним соответственно.

Учитывая существующим между процессами информационного обмена и управления взаимосвязи можно записать следующее расчетное выражение для ОПЭФ:

- вероятность выполнения требований к связи, характеризующая эффективность функционирования системы информационного обмена (СИО) при условии, что в СС выполняются требования к упражнению (поддерживается допустимое состояние системы);

- вероятность выполнения требований к упражнению СС, характеризующая эффективность функционирования ее АСУ.

Выделяя в качестве в компонентом (ВК) соответствующих процессов своевременность связи и оперативность управления могут быть записаны формулы, связывающие ВК с основными характеристиками СИО и ОСУ:

- математическое ожидание (МО) времени доставки сообщений в СИО и требование к нему- МО длительности цикла оперативного управления и требование к ней,- вероятность выполнения требований к устойчивости СИО (АСУ) (здесь учитываются надежность, живучесть и помехоустойчивость соответствующих подсистем).

Справедлива оценка

$$\mathfrak{G} \approx \prod_{m=1}^n \{ \varphi_{mn}(0) + [P_n - \varphi_{mn}(t < d_m)]^{2-r_m} \},$$

где r_m - число проверочных символов, d_m – кодовое расстояние кода, используемого в m -м канале,

$$\varphi_{mn}(t < d) = \sum_{t=0}^{d-1} \varphi_{mn}(t),$$

матрицы $\varphi_{mn}(t)$ имеют произвольную функцию

$$\Phi_{mn}(z) = \sum_{t=0}^n \varphi_{mn}(t) z^t = (A_m + B_m z)^n, \text{ где } A_m = P(E - \varepsilon_m), B_m = P \varepsilon_m.$$

Из предыдущей формулы следует, что матрицы $\wp_{mn}(t)$ удовлетворяют соотношениям $\wp_{mn}(t) = \sum_{t_1} t_1 \wp_{mn_1}(t) \wp_{m, n-n_1}(t-t_1)$, которые удобно использовать для расчетов на ЭВМ.

Если матрицы A_1, A_2 примитивные, то при $n \rightarrow \infty$ справедливы асимптотические формулы

$$\wp_{mn}(t) \approx [-\Delta'(z_{m1})]^{-t-1} C_m(z_{m1}) [B_m C_m(z_{m1})]^t z_{m1}^{-n-1},$$

где z_{m1} – наименьший по модулю корень многочлена $\Delta_m(z) = \det(E - zA_m)$, $C_m(z)$ – матрица, присоединенная к $E - A_m z$.

Обозначим через $\wp(\square; k)$ матричную вероятность того, что время передачи сообщения из K блоков равно $T_{\square, t}$. E – матрицу, (i, j) -й элемент которой представляет собой вероятность перехода цепи Маркова из состояния на позиции t_0 , предшествующей передаче рассматриваемого сообщения в состоянии j на позиции $nT_{\square} + t_0$ и при этом время передачи сообщения равно T_{\square} . Можно показать, что матрицы $\wp(\square; k)$ имеют производящую функцию вида:

$$\Psi(z) = \sum_{\gamma=0}^{\infty} \wp(\gamma; k) z^{\gamma} = [(E - \mathcal{G} R M - 1z) - 1H]^{-k},$$

где $R = Pn$, $H = R - \square$. Из этой формулы следуют соотношения

$$\wp(\gamma; k) = \sum_{\gamma_1} \wp(\gamma_1, k_1) \wp(\gamma - \gamma_1; k - k_1)$$

и, в случае когда матрица \square примитивная, получаем асимптотические оценки

$$\wp(\gamma; k) \approx [-\Delta'(z_1)]^{-k} [B(z_1)H]^{-k} \frac{z_1^{k-1}}{(k-1)!} z_1^{-\gamma},$$

где z_1 – наименьший по модуль корень многочлена $\Delta(z) = \det(E - \square z)$, $B(z)$ – матрица, присоединенная к $E - \square z$.

На основании простых рассуждений становится очевидным, что количество слагаемых в (1) (порядок фильтра) должно зависеть от того, насколько сильно зависят друг от друга соседние отсчеты. Например, нет смысла брать фильтр тридцатого порядка, если наблюдается зависимость только лишь десяти отсчетов, следующих друг за другом. На самом деле даже не то, что «нет смысла», а — нельзя, так как если отсчеты практически не связаны, то начнется чрезмерное сглаживание полезного сигнала («съедение» слогов). Но и фильтр третьего порядка здесь не будет оптимальным по степени использования информации о полезном сигнале, так как, как уже было сказано, наблюдается зависимость порядка десяти соседних отсчетов. Поэтому можно «попытать счастья» с помощью фильтра девятого порядка, естественно, увеличив нагрузку на процессор-вычислитель. Здесь уже требуется определить, скорее всего экспериментально, а стоит ли данная игра свеч?..

Как оценить насколько сильно связаны соседние отсчеты? Вычислить автокорреляционную функцию (АКФ). Желаящим можно предложить провести эксперимент по записи разных слов, фраз, повторов фраз и последующему построению АКФ (благо, например, программа Matlab позволяет это сделать, особо не задумываясь над кодом и формулами).

Литература

1. Гинзбург С.Л., Толчан А.Я. Приближенное вычисление функции распределения времени доставки в сетях с коммутацией сообщений- М.: Наука, 1999- с. 44-60.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Волчёнков Дмитрий Николаевич -студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Manfils@yandex.ru.

Чухраева Анастасия Игоревна -студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К. Горбунов, А.А. Кузнецова

СИГНАЛ НА ФОНЕ ГАУССОВСКОГО БЕЛОГО ШУМА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Многие асимптотические задачи оценивания одномерного параметра в белом шуме можно свести к изучению следующей схемы: на отрезке $[0,1]$ наблюдается процесс $X_\varepsilon(t)$, определяемый стохастическим дифференциальным уравнением

$$dX_\varepsilon(t) = S_\varepsilon(t, \theta) dt + d\xi(t)$$

где $\xi(t)$ – стандартный винеровский процесс, $S_\varepsilon(t, \theta)$ – зависящее от малого параметра ε и неизвестного параметра $\theta \in \Theta$ семейство функций. Если семейство S_ε достаточно гладко по θ , то необходимым условием существования состоятельной оценки параметра θ является условие

$$\varphi(\theta, \varepsilon) = \left\| \frac{\partial S_\varepsilon}{\partial \theta}(\theta) \right\| \rightarrow \infty, \text{ при } \varepsilon \rightarrow 0, (1)$$

(Символом $\| \cdot \|$ обозначается норма в $L_2(0,1)$).

Однако это условие не является достаточным. Связанное с отсутствием для семейства S_ε состоятельных оценок явление названо им явлением аномалии. Следующие условия гарантируют существование состоятельных и асимптотически эффективных оценок (отсутствие аномалии) в случае, когда Θ – открытое множество числовой прямой.

Условие А.

1. Функция $S_\varepsilon(\cdot, \theta) \in L_2(0,1)$ при $\theta \in \Theta, \varepsilon > 0$, а функция $S_\varepsilon(t, \cdot)$ абсолютно непрерывна для $\varepsilon > 0$ и почти всех $t \in (0,1)$, причем $\frac{\partial S_\varepsilon(t, \theta)}{\partial \theta} \in L_2(0,1)$.

2. Для всех $\theta \in \Theta$ функция $\varphi(\theta, \varepsilon)$ удовлетворяет условию (1), а для некоторой постоянной $C_0 > 0$ при $0 < \varepsilon < \varepsilon_0, \theta_1, \theta_2 \in \Theta$ справедливо неравенство $\varphi(\theta_1, \varepsilon) < C_0 \varphi(\theta_2, \varepsilon)$.

Условие Б. Существует положительное число δ такое, что:

1. $\sup_{|\theta - \theta_0| < \varphi(\theta_0, \varepsilon)^{-\delta}} \left\| \frac{\partial^2 S_\varepsilon}{\partial \theta^2} \right\| = \theta(\varphi(\theta_0, \varepsilon)^{1+\delta})$ при $\varepsilon \rightarrow 0$,
2. для некоторого $\mu > 0$ при $0 < \varepsilon < \varepsilon_0$ выполнено, кроме того, вие $\inf_{\theta_1 \in \Theta, |\theta_2 - \theta_1| > \varphi(\theta_0, \varepsilon)^{-\delta}} \|S_\varepsilon(\theta_2) - S_\varepsilon(\theta_1)\| > \varphi(\theta_0, \varepsilon)^\mu$

Условия А, Б-1 обеспечивают локальную асимптотическую нормальность семейства распределений P_θ в смысле Ле Кама. Условие же Б2 означает, что не слишком близкие значения параметра должны достаточно сильно различаться при малых ε .

Теорема 1. Если множество Θ ограничено и выполнены условия А, Б, то при $\varepsilon \rightarrow 0$ оценка максимального правдоподобия (ОМП) $\hat{\theta}_\varepsilon$ параметра θ асимптотически нормальна, состоятельна равномерно в любом замкнутом множестве из Θ и асимптотически эффективна; при этом моменты любого

порядка случайной величины $(\hat{\theta}_\varepsilon - \theta)\varphi(\theta, \varepsilon)$ сходятся к соответствующим моментам гауссовской случайной величины с параметрами $0, 1$. Если же множество Θ неограничено, а L_ε при $\varepsilon \rightarrow 0$ растет не быстрее некоторой степени $\varphi(\theta, \varepsilon)$, то аналогичными свойствами обладает усеченная на интервале $|\theta| < L_\varepsilon$ ОМП.

Эти свойства доказаны и для оценок, байесовских по отношению к широкому классу функций потерь и априорных плотностей. Общие результаты применяются к таким распространенным методам модуляции, как фазоимпульсная, частотноимпульсная и времяимпульсная. Необходимость рассмотрения усеченных процедур оценивания в случае неограниченного параметрического множества ясна, в частности, для примера частотноимпульсной модуляции, когда наблюдается процесс $X_0(S)$, определяемый уравнением

$$dX_0(S) = A \sin \theta S dS + \sigma d\xi(S), \quad 0 \leq S \leq T, \quad \Theta = (\alpha, \infty), \quad \alpha > 0. \quad (2)$$

В этом случае неусеченная ОМП не существует, т.к. функция правдоподобия неограничена.

Теорема 2. Пусть $\hat{\theta}_{L_T}$ – усеченная на отрезке (α, L_T) ОМП, построенная по процессу наблюдений (2). Эта оценка состоятельна при $T \rightarrow \infty$ равномерно в области $\alpha + \delta < \theta < L_T - \delta$, $\delta > 0$, если $L_T < \exp[(C - \varepsilon)T]$, $C = \frac{A^2}{4\sigma^2}$. Если же $L_T > \exp[(C + \varepsilon)T]$ при некотором $\varepsilon > 0$, то не существует оценки параметра θ , равномерно состоятельной на интервале $\alpha + \delta < \theta < L_T$.

Доказательство второй части этой теоремы основано на идеях теории информации.

Литература

1. С.Е. Shannon, R.G. Gallager, E.R. Berlekamp. Lower bounds to error probability for coding on discrete memoryless channels. Information and Control, 2009, 44, 1, 65-103

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Кузнецова Анна Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 521annakuznetsova@gmail.com.

А.К. Горбунов, А.А. Кузнецова

СИСТЕМЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Результаты оптимальной нелинейной фильтрации[1] дают возможность исследовать структуру оптимальных методов кодирования и декодирования в задачах передачи гауссовских процессов по каналу с белым шумом с использованием (бесшумной) обратной связи.

Приведем один из полученных в этом направлении результатов.

Пусть $\theta = (\theta_t), 0 \leq t \leq T$, гауссовско-марковский (вообще говоря, нестационарный) процесс, удовлетворяющий уравнению

$$d\theta_t = a(t)\theta_t dt + b(t) dW_t, \quad (1)$$

где $W = (W_t), 0 \leq t \leq T$, стандартный винеровский процесс, $|a(t)| \leq K, |b(t)| \leq K, K < \infty$, случайная величина θ_0 не зависит от $W, \theta_0 \sim N(m, \gamma)$.

Принятое (на выходе канала) сообщение $\xi = (\xi_t), 0 \leq t \leq T$, предполагается удовлетворяющим уравнению

$$d\xi_t = [A_0(t, \xi) + A_1(t, \xi)\theta_t] dt + d\tilde{W}_t, \xi_0 = 0, \quad (2)$$

где $\tilde{W} = (\tilde{W}_t), 0 \leq t \leq T$, винеровский процесс, не зависящий от W , а кодирующие функции $A_0(t, \xi), A_1(t, \xi)$ предполагаются неантисипативными (т.е. $F_t^\xi = \sigma\{\xi_s, S \leq t\}$ измеримыми при каждом $0 \leq t \leq T$) и такими, что

$\sup_{t \leq T, x \in C} |A_1(t, x)| < \infty, C$ — пространство непрерывных функций, $P\left\{\int_0^T A_0^2(t, \xi) dt < \infty\right\} = 1$.

Кодирующие функции (A_0, A_1) предполагаются удовлетворяющими при каждом $0 \leq t \leq T$ энергетическому ограничению

$$M[A_0(t, \xi) + A_1(t, \xi)\theta_t]^2 \leq P, \quad (3)$$

где P — заданная константа.

Пусть $\hat{\theta}_t(\xi)$ — оценка (иначе — декодирование) θ_t по значениям $\xi_0^t = \{\xi_s, S \leq t\}$, с $M\hat{\theta}_t^2 < \infty, 0 \leq t \leq T$. Обозначим

$$\Delta(t) = \inf_{(A_0, A_1)} \inf_{\hat{\theta}} M[\theta_t - \hat{\theta}_t(\xi)]^2, \quad (4)$$

минимально возможную ошибку "воспроизведения" сигнала θ_t , где \inf берется по всем допустимым кодированиям и декодированиям.

Ясно, что для любого кодирования (A_0, A_1) оптимальное декодирование есть апостериорное среднее $m_t(\xi) = M(\theta_t | F_t^\xi)$. Так что основная трудность состоит в отыскании оптимального кодирования (если таковое, конечно, существует).

Теорема 1. В схеме (1) — (3) существуют оптимальные кодирования $(A_0^*, A_1^*) = (A_0^*(t, \xi^*), A_1^*(t, \xi^*))$ и оптимальное декодирование $m^* = (m_t^*(\xi^*)), 0 \leq t \leq T$.

2. Оптимальное сообщение $\xi^* = (\xi_t^*), 0 \leq t \leq T$ и оптимальное декодирование $m^* = (m_t^*(\xi^*)), t \leq T$ описываются уравнениями

$$d\xi_t^* = \sqrt{\frac{P}{\Delta t}} [\theta_t - m_t^*] dt + d\tilde{W}_t, \xi_0^* = 0, \quad (5)$$

$$dm_t^* = a(t)m_t^* dt + \sqrt{P\Delta(t)} d\xi_t^*, m_0^* = m, \quad (6)$$

(так что $A_1(t, \xi^*) = \sqrt{\frac{P}{\Delta(t)}}$, $A_0(t, \xi^*) = -A_1(t, \xi^*)m_t^*$), где минимальная ошибка воспроизведения $\Delta(t)$ удовлетворяет линейному уравнению

$$\dot{\Delta}(t) = [2a(t) - P]\Delta(t) + b^2(t), \Delta(0) = \gamma, \quad (7)$$

(и следовательно,

$$\Delta(t) = \gamma \exp \left[\int_0^t (2a(S) - P) dS \right] + \int_0^t b^2(S) \exp \left[\int_0^t (2a(u) - P) du \right] dS, \quad (8).$$

3. Если обратная связь не используется, то минимальная среднеквадратическая ошибка воспроизведения $\Delta_0(t)$ удовлетворяет уравнению

$$\dot{\Delta}_0(t) = 2a(t)\Delta_0(t) - \frac{P}{D\theta_t} \Delta_0^2(t) + b^2(t), \Delta_0(0) = \gamma.$$

Пример 1. Если $a(t) \equiv b(t) \equiv 0$, т.е. $\theta_t \equiv \theta \sim N(m, \gamma)$, то получаем известные результаты:

$$\Delta(t) = \gamma e^{-Pt}, \Delta_0(t) = \frac{\gamma}{1+Pt}.$$

Пример 2. Если $a(t) \equiv -1, b(t) \equiv 1, M\theta_0 = 0, D\theta_0 = \frac{1}{2}$, то θ_t стационарный гауссовско-марковский процесс.

Тогда
$$\Delta(t) = \frac{1}{2+P} + e^{-(2+P)t} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2+P} \right]$$
 и
$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta_0(t) = \frac{\sqrt{1+2P}-1}{2P}.$$

Следовательно

$$\frac{\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta(t)}{\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta_0(t)} = \frac{2P}{(2+P)(\sqrt{1+2P}-1)} \square \begin{cases} \sqrt{\frac{2}{P}}, P \rightarrow \infty \\ 1, P \rightarrow \infty \end{cases}.$$

Литература

1. T. Kailath J.R.M., Shalkwijk, A coding scheme for additive noise channel with feedback, 1. IEEE trans. IT -72,2012; 172-182.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Кузнецова Анна Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 521annakuznetsova@gmail.com.

А.К. Горбунов, М.И. Клочкова, Г.Э. Амеличев

СТРУКТУРНАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ И ВЕРОЯТНОСТЬ ДОСТАВКИ ИНФОРМАЦИИ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается подход к оценке структурной надежности сетей передачи информации о произвольной топологии, обсуждается методика расчета вероятности доставки информации и результаты расчетов на ЭВМ для типовых структур сети.

Развитие и усложнение сетей передачи информации, связанное как с усложнением топологии сети, так и с расширением задач, актуальной задачей использования структурной избыточности сети для повышения вероятности доставки информации в сети с конечной надежностью узлов и меж узловых информационных каналов.

Математическая модель сети передачи информации может быть представлена в виде графа, вершинами(узлами) которого ставятся в соответствии физические элементы сети: источники и получатели информации, центры коммутации, а также каналы передачи информации. Каждая вершина графа обладает конечной надёжностью. Предполагается, что информационный пакет может быть доставлен от источника получателю по любому из альтернативных маршрутов, соединяющих источник и получатель. Рассматривается статистическая модель сети.

В качестве показателя качества структурной надежности сети используется вероятность доставки информации от K -го источника j -му получателю, характеризующая возможность сохранения информационного направления между заданными источником и получателем информации.

Топология сети может быть произвольной и задается, например, в виде матрицы связи. Ниже рассматривается автоматизированная методика расчета вероятности доставки информации в сети о заданной топологией и результаты использования разработанного на ее основе пакета прикладных программ для анализа структурной надежности сетей с различной топологией.

В общем случае вероятность доставки информации при существовании совокупности альтернативных маршрутов может быть определена как:

$$P_{gz} = P_1 + T_2 P_2 + T_3 P_3 + \dots = \sum_{n=1}^N T_n P_n, \quad (1)$$

где P_n -вероятность существования (работоспособности); n -го маршрута, $n \in [1, N]$; -условная вероятность выхода из строя маршрутов с 1 по $(n-1)$, при условии сохранения работоспособности n - го маршрута, при этом.

Для нахождения будем считать, что выход из строя любого маршрута происходит при отказе хотя бы одного узла, принадлежащего данному

маршруту. Причем каждый маршрут может иметь узлы, являющиеся общими для каких-либо других маршрутов.

Выход из строя одновременно $(n-1)$ маршрута возможен при различных комбинациях отказов узлов, которые определяются как пересечение с множеством узлов $\{M_1, M_2, \dots, M_{n-1}\}$, где M_i - множество узлов, принадлежащих i -му маршруту.

В этом случае условная вероятность можно записать в виде:

$$T_n = \sum_{l=1}^L \prod_{k=1}^{k_l} \bar{g}_k, \quad (2)$$

где $\bar{g}_k = (1 - g_k)$ - вероятность K -го узла сети; g_k - вероятность работоспособности K -го узла; L - число различных комбинаций узлов, одновременный отказ которых приводит к выходу из строя $(n-1)$ маршрута; K_l - число узлов в комбинации, одновременный отказ которых приводит к выходу из строя $(n-1)$ маршрута.

На основе комбинаторных алгоритмов и алгоритма Дейкстры разработаны численные алгоритмы, позволяющие по заданной матрице связей находить множество маршрутов, связывающих два произвольных узла, вычислить для каждого маршрута, ранжировать их по степени убывания, а также реализующих на множестве маршрутов поиск комбинаций узлов и вычисление условных вероятностей по формуле (2) и вероятности по формуле (1).

Укрупненный алгоритм расчета вероятности доставки информации в сети со сложной топологией заключается в следующем:

1. Осуществляется поиск всех возможных маршрутов между источником и получателем.
2. Определяется вероятность существования каждого маршрута исходя из вероятности работоспособности узлов.
3. Маршруты ранжируются по величине в порядке убывания вероятности.
4. Рассчитываются условные вероятности выхода из строя $(n-1)$ маршрута при условии сохранения работоспособности r -го маршрута.
5. Определяется вероятность доставки информации в соответствии с (1).

Изложенная методика реализована в виде пакета прикладных программ, с помощью которого была проанализирована структурная надежность сетей с различной топологией.

При уменьшении надежности узлов графа увеличивается относительный вклад альтернативных маршрутов в вероятность доставки информации, при этом показатели качества существенно зависят от коэффициента связности и топологии сети.

Увеличение структурной избыточности сети, связанное с усложнением топологии, например, путем увеличения коэффициента связности узлов, увеличения количества узлов и т.п., приводит к увеличению вероятности доставки информации и позволяет компенсировать конечную надежность узлов.

Более подробно данная проблема должна изучаться с учетом динамического характера процессов передачи информации в сети.

Разработанная методика и пакет прикладных программ позволяют проводить анализ структурной надежности сетей с различной топологией исследовать влияние структурных характеристик сети и надежных характеристик ее элементов на показатели качества сети.

Литература

1. Таха Х. Введение в исследование операций. М.: Мир, 1991

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Клочкова Мария Игоревна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: oleola10@yandex.ru.

Амеличев Глеб Эдуардович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Е.А. Коваленко, А.К. Горбунов

УМЕНЬШЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ ЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ В АСУТП

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Предложен алгоритм сокращения размерности линейных задач математического программирования, сохраняющий разреженность матрицы ограничений. Получена аналитическая зависимость заполненности матрицы от выбора главного элемента исключения и 3 более простых оценки этой заполненности. Приведен пример.

Оптимизационные задачи в АСУТП часто ставятся в виде

$$\min \alpha'x, (1)$$

$$Cx = b, (2)$$

$$Dx \leq d', (3)$$

где α, x, b, d – вектор столбцы размерности n, n, m_1, m_2 ; C, D – разреженные матрицы размерности $m_1 \times n, m_2 \times n$; $'$ – операция транспонирования; ограничения (2) возникают в основном из модели объекта; (3) – из плановых и технологических условий.

Задача типа (1) - (3) в процессе функционирования АСУТП решается многократно при различных значениях, входящих в нее коэффициентов, и естественно попытаться уменьшить время ее решения, предварительно снизив размерность путем исключения равенств (2) и части переменных, например, методом Гаусса. Однако, время решения задачи (1) – (3) зависит не только от ее размерности, но и от заполненности матрицы ограничений (и весьма существенно). Поэтому выбор очередного главного элемента в методе Гаусса предлагаем производить таким образом, чтобы минимизировать заполненность (количество ненулевых элементов) результирующей матрицы ограничений. Тогда на каждом шаге исключения требуется решить экстремальную задачу. Временные затраты на это с избытком окупаются при последующей эксплуатации АСУ.

Получим выражение для нашего критерия оптимизации – зависимость заполненности от выбора главного элемента исключения.

Обозначим:

$$A = \begin{pmatrix} C \\ D \end{pmatrix}, R = (r_{ij}), r_{ij} = \begin{cases} I, & \text{если } a_{ij} \neq 0 \\ 0, & \text{если } a_{ij} = 0 \end{cases}, g = \sum_{i,j} r_{ij}, l_s = \sum_q r_{sq}, c_t = \sum_p r_{pt},$$

I_k – единичная матрица размерности $k \times k$; $j_t - t$ – столбец матрицы I_n ; $i_s - s$ – столбец матрицы I_{m_1} ; $T_{st} = a_{st}^{-1} j_t i_s' C$, $M_{st} = a_{st}^{-1} j_t i_s' b$

Тогда при исключении из матрицы A , α переменной x_t с помощью строки $S (S \leq m_1, a_{st} = 0)$ задача (1) - (3) преобразуется в задачу

$$\min \alpha'(I_n - T_{st})x + \alpha' M_{st}, (4)$$

$$C(I_n - T_{st})x = b - CM_{st}, (5)$$

$$D(I_n - T_{st})x = d - DM_{st}, (6)$$

которая фактически не содержит переменную x_t . Значение переменной x_t можно восстановить из соотношения $j'_s Cx = j'_s b$.

Поскольку при преобразовании задачи новые ненулевые элементы появляются на тех местах (p, q) , для которых $r_{pq} = 0$, $r_{pt} = r_{sq} = 1$ количество таких элементов на месте (p, q) равно

$$r_{pt}(1 - r_{pq})r_{sq}, (7)$$

а общая заполненность матрицы условий задачи (4) – (6) равна

$$g_{st} = g + \sum_{p,q} r_{pt}r_{sq}(1 - r_{pq}) - c_t - l_s + 1, \quad \forall s \leq m_1, a_{st} \neq 0. (8)$$

В случае, когда затраты на расчет критерия по формуле (8) неприемлемо велики можно использовать оценки g_{st} .

Верхняя оценка $\tilde{g}_{st} \geq g_{st}$ легко получается если в (7) положить $r_{pq} \equiv 0 (q \neq t)$, т.е. в тех строках, куда производится подстановка, все коэффициенты кроме t -го равны 0:

$$\tilde{g}_{st} = g + (l_s - 2)(c_t - 2) - 2, \quad \forall s \leq m_1, a_{st} \neq 0. (9)$$

Более точная стохастическая оценка \hat{g}_{st} получается если предположить, что распределение ненулевых элементов в каждой строке матрицы Аподчиняется схеме Бернулли и взаимонезависимо для всех пар строк. Тогда вместо формулы (7) имеем среднее количество вновь возникших ненулевых элементов для места (p, q) равное

$$r_{pt}(l_s - 1)(n - l_p)(n - 1)^{-2}$$

и формула (8) переходит в

$$g_{st} = \tilde{g}_{st} - (l_s - 1)(n - 1)^{-1} \tau_t - (l_s - 1)(c_t - 1 - l_s)(n - 1)^{-1}; (10)$$

где τ_t обозначает суммарное количество ненулевых элементов во всех строках матрицы A , содержащих переменную x_t .

Последнее слагаемое в (10) мало по сравнению с другими и, если им пренебречь, то получим еще одну оценку

$$\bar{g}_{st} = \tilde{g}_{st} - (l_s - 1)(n - 1)^{-1} \tau_t.$$

Оценки \hat{g}_{st} и \bar{g}_{st} являются промежуточными между g_{st} и \tilde{g}_{st} по точности и трудоемкости вычисления. Для большинства разреженных матриц они, по-видимому, являются наиболее предпочтительными, так как предположения при которых они получены достаточно хорошо соблюдаются для широкого класса практических задач, а дополнительные вычисления невелики.

Приведем в заключение пример. Критерий (9) был использован для задачи, в которой $m_1 = 7$, $m_2 = 22$, $n = 11$, $g = 44$, время решения исходной задачи симплекс – методом 6, 5 мин на мини – ЭВМ. После исключения переменных $m_1 = 0$, $m_2 = 22$, $n = 4$, $g = 42$, время решения преобразованной задачи симплекс – методом 2 мин.

Литература

1. Miller D.R. Computation of steady state probabilities for M/M/1 priority queues, Operations Research 1999 V, 59

Коваленко Елизавета Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: www.yoursmile@yandex.ru.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К. Горбунов, А.А. Артамонов

УПРАВЛЯЕМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается задача оценки доверительным интервалом неизвестного параметра θ по наблюдениям. Условные вероятности результатов измерения (1) зависят от того, по какую сторону от точки измерения находится измеряемый параметр θ .

Построен метод измерения, для которого функция надежности удовлетворяет «границе случайного кодирования».

Рассматривается специальная задача радиотехнических измерений, близкая по постановке к задаче передачи по дискретному каналу с бесшумной обратной связью.

Пусть неизвестный параметр θ принимает значение на отрезке $[0,1]$. Используя n измерений, каждое из которых характеризуется точкой измерения l , требуется оценить неизвестный параметр. Результатом каждого измерения является число, принимающее одно из двух значений, 0 или 1, причем условные вероятности этих значений зависят от того по какую сторону точки измерения находится параметр θ .

$$p(1/\theta \leq l) = qp(0/\theta > l) = q \quad (1)$$

и

$$p(0/\theta \leq l) = pp(1/\theta > l) = p$$

где $q > 1/2$; $p = 1 - q$. Вероятность назовем вероятностью ошибки измерения.

Задача состоит в том, чтобы после n измерений, где n фиксированное число, оценить параметр θ .

При выборе каждой точки измерения разрешается использовать всю информацию о предыдущих наблюдениях.

Качество измерения определяется длиной доверительного интервала Δ доверительным уровнем P_e . Последний определяется как вероятность того, что оцениваемый параметр не принадлежит доверительному интервалу.

Назовем $\frac{\ln \Delta}{n} = R$ скоростью измерений. Введем также параметр $g, g < 1/2$, определяемый соотношением

$$R_x = g \ln 2g + (1 - g) \ln 2(1 - g) \quad (2)$$

Основной результат состоит в доказательстве существования стратегии измерений, для которых доверительный уровень P_e при фиксированном R стремится к 0 экспоненциально с ростом n при всех $R < g \ln 2g + p \ln 2p$.

Величину $-\frac{\ln P_e}{n} = E = E(R)$ назовем функцией надежности измерений.

Скорость

$$R = \frac{\sqrt{p}}{\sqrt{p+\sqrt{q}}} \ln \frac{2\sqrt{p}}{\sqrt{p+\sqrt{q}}} + \frac{\sqrt{q}}{\sqrt{p+\sqrt{q}}} \ln \frac{2\sqrt{q}}{\sqrt{p+\sqrt{q}}} \quad (3)$$

Назовем критической скоростью.

Теорема. Существует конструктивный метод измерений, для которого функция надежности $E(R)$ ограничена снизу неравенством :

$$E(R) \geq \begin{cases} g \ln \frac{g}{p} + (1 - g) \ln \frac{1-g}{q}, R > R_x \\ \ln \frac{2}{1 + \sqrt{4qp}} - R, R \leq R_x \end{cases} \quad (4)$$

Неравенство (4) известно в теории передачи сообщений как «граница случайного кодирования».

Поясним основную идею доказательства для $R > R_x$ в случае , когда $\frac{1}{\Delta}$ — целое. Разобьем отрезок $[0,1]$

значений на $\frac{1}{\Delta}$ частей. Рассмотрим класс стратегий, для которых в качестве точек измерений выбираются лишь точки вида i , где i — целое. Пусть измеритель после каждого измерения вычисляет апостериорные вероятности нахождения измеряемого параметра в каждой из $\frac{1}{\Delta}$ частей , причем априорные вероятности считаются равными , а вероятность ошибки измерения считается равной p , а q . если медиана апостериорного распределения имеет вид i , где i — целое , она выбирается в качестве следующей точки измерения. В противном случае в качестве точки измерения выбирается случайным образом одна из двух ближайших к медиане допустимых точек измерения. Вероятности выбора этих точек зависят от их расстояния до медианы. Методом, аналогичным рассмотренному, доказывается, что функция надежности $E(R)$ такого метода удовлетворяет неравенству (4).

Некоторого улучшения границы (4) при $R > R_x$ можно добиться методом, аналогичным методу «вычеркивания» кодов. Рассмотрен так же случай, когда число измерений — случайное число.

Литература

1. Horstein. Sequential transmission using noiseless feedback, IEEE Trans. Inform. Theory., 2013, 59.,3., 136-143.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Артамонов Алексей Александрович — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Sedoyded1@yandex.ru.

А.К. Горбунов, А.Л. Лысенко, Т.С. Китаева, Л.В. Лысенко

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКЕ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрим функции денег с физических позиций.

При этом будем разделять кинетические функции и транспортные. Под транспортными функциями денег будем понимать переход товара и других ценностей между владельцами. Кинетические функции денег будем связывать с преобразовательными процессами.

Транспортные функции денег. К транспортным функциям относятся функции денег при меновых операциях, как средств обращения товаров и услуг:

- функция продажной меры стоимости;
- функция покупной меры стоимости;
- функция мены при договорных отношениях;
- функция размена.

Из сравнительного анализа перечисленных функций следует, что между отдельными функциями нет четких границ.

Транспортные функции денег объединяет понятие, основанное на переходных процессах денег, товаров и других материальных и нематериальных активов.

Транспортные функции могут быть рассмотрены как во времени, так и без привязки к последнему.

Кинетические функции денег. Кинетические функции денег следуют из финансовых процессов, связанных с преобразованием денег. В знаменитой формуле К. Маркса

$$\text{ДЕНЬГИ} \text{ — ТОВАР} \text{ — ДЕНЬГИ} \quad (1)$$

финансовая кинетика заключена в процессах, заключенных между словами.

К кинетическим функциям денег относятся следующие функции:

- функция превращения денег в товар;
- функция превращения денег в заработную плату;
- функция превращения денег в прибыль предприятия;
- функция превращения денег в налоги;
- функция кредитования;
- функция преобразования валютных курсов;

Перечисленные функции связаны с преобразованием финансовых средств, имеют временную протяженность (зависят от времени) и могут быть дополнены аналогичными функциями.

Используя математический аппарат природоподобных процессов [1-4], проведем анализ влияния транспорта финансов и кинетики производства продукции на экономическую эффективность предприятия.

Макропроцесс транспорта финансов на предприятие описывается следующим уравнением:

$$i_{TP} = -D \frac{C_0 - C}{n} - K_{TP}(C_0 - C) \quad (2)$$

Макропроцесс превращения финансовых средств в товарную продукцию на предприятии описывается уравнением кинетики в следующем виде:

$$\frac{dc}{dt} = -K(C - C_p) \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что скорость превращения финансовых средств в товарную продукцию прямо пропорциональна финансовому потенциалу.

здесь i_{TP} – поток финансовых средств на предприятие, руб./год; C_0 – сумма контрактных цен заключенных договоров на 1 год, руб.; C – средняя величина оборотных активов предприятия, руб.; n – количество посреднических предприятий между головной организацией и предприятием изготовителем продукции; D – коэффициент пропорциональности, определяющий естественный процесс поступления финансовых средств на предприятие (без учета инвестиционных потоков), год⁻¹; K_{TP} – коэффициент пропорциональности, определяющий дополнительные инвестиционные финансовые потоки на предприятие и потоки самофинансирования предприятия (в том числе – повышение производительности труда) через вовлечение интеллектуальной собственности в хозяйственный оборот, год⁻¹.

Применительно к математическому аппарату финансовых потоков имеем следующее уравнение:

$$i_{кин} = -K_{кин}(C - C_p) \quad (4)$$

здесь $i_{кин}$ – кинетический поток финансовых средств, которые превращаются в процессе производства в товар, руб./год; C – средняя величина оборотных активов предприятия, руб.; C_p – прямые расходы в цене товарной продукции на предприятии, руб.; $K_{кин}$ – кинетическая константа, определяющая скорость преобразования финансовых средств на предприятии в товарную продукцию, год⁻¹. Условно принимаем, что за отчетный период внешний финансовый поток i_{TP} и кинетический поток $i_{кин}$ равны

$$i_{TP} = i_{кин} = i \quad (5)$$

Для исключения из анализа величины оборотных активов складываем уравнения (2) и (4).

С учетом уравнения (5) имеем

$$\frac{i}{D/n + K_{TP}} + \frac{i}{K_{кин}} = C_p - C_0 = -\Delta C \quad (6)$$

здесь ΔC – полный финансовый потенциал, руб.

После преобразования (6) имеем уравнение оптимизации финансового цикла с использованием инвестиционных потоков (в безразмерном виде)

$$L = -\frac{A\Phi T}{A\Phi^2 + T} \quad (7)$$

Из этого уравнения получаем следующие драйверы в безмерном виде [2,5]

$$L = \frac{i}{\Delta C \sqrt{K_{кин} \cdot D}};$$

$$A = \frac{1}{n};$$

$$\Phi = n \sqrt{\frac{K_{кин}}{D}};$$

$$T = \frac{nK_{TP}}{D} + 1;$$

Безразмерные драйверы позволяют выполнить качественный анализ экономической деятельности предприятия.

Наглядный анализ экономической деятельности предприятия целесообразно выполнять с использованием многомерной поверхности экономической деятельности (рис. 1).

Многомерная поверхность экономической деятельности построена в безразмерных координатах А, Ф, Т по формуле (7), при А=0,5 (отрицательный знак у безразмерной величины L опущен).

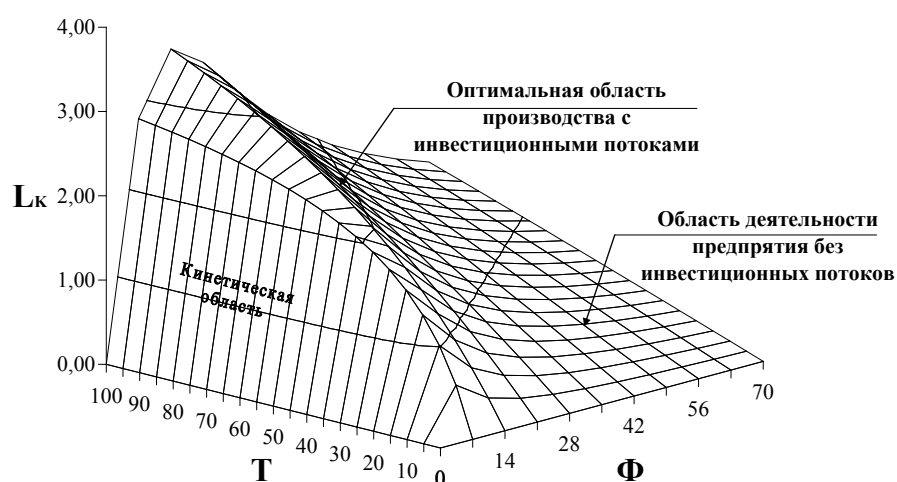


Рис. 1. Многомерная поверхность экономической деятельности

Из анализа многомерной поверхности можно выделить:

- кинетическую производственную область работы предприятия;
- область работы предприятия без инвестиционных потоков;
- оптимальную область производства с инвестиционными потоками.

Теоретические положения на базе физических и математических зависимостей, представленные в настоящей статье, определяют хозяйственную стратегию для машиностроительных предприятий с длительным производственным циклом.

Литература

1. Горбунов А.К., Коржавый А.П., Лысенко Л.В., Лысенко А.Л., Шаталов В.К. Элементы теоретических основ природоподобных процессов. Научно-технические технологии, 2015, № 6, 2015, с. 52-57.

2. Параметры и безразмерные комплексы, обобщающие энерготехнологические процессы. Сб. Энерготехнологические процессы. Проблемы и перспективы. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000, с.25-30.

3. Влияние транспорта финансов и кинетики производства на экономику предприятия. Сб. Энерготехнологические процессы. Проблемы и перспективы. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, с.8-12.

4. Энерготехнологические функции денег. В сб.: Энерготехнологические процессы. Проблемы и перспективы. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва, Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, с.13-14.

5. Горбунов Е.А. Теоретические основы финансовых транспортно-кинетических процессов в экономике. Калуга, Изд-во «Манускрипт», 2005, 126с.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Лысенко Андрей Леонидович — канд. техн. наук, доцент. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: baldqwest@mail.ru.

Китаева Тамара Сергеевна — канд. техн. наук, доцент кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Лысенко Леонид Васильевич — д-р техн. наук, профессор. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: baldprice@mail.ru.

Т.С. Китаева

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ СОЛЕЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Теоретические и экспериментальные представления процесса растворения солей относят его к гетерогенным, то есть протекающим на поверхности раздела жидкой и твердой фаз.

В отличие от чисто диффузионной теории, а также теории, учитывающей лишь фазовые превращения, утверждается диффузионно-кинетическая теория гетерогенных процессов, согласно которой возможны три типа процессов растворения: диффузионный, кинетический и диффузионно-кинетический [1].

Диффузионный процесс характеризуется зависимостью коэффициента скорости растворения от скорости и направления движения растворителя, а также от коэффициентов диффузии и вязкости и сравнительно невысокими значениями температурного коэффициента.

Для кинетического процесса характерны независимость скорости растворения от скорости движения растворителя, малые абсолютные значения коэффициента скорости растворения, быстрое его увеличение с повышением температуры растворителя.

Диффузионно-кинетический процесс характеризуется сравнительными коэффициентами скорости межфазового и диффузионного растворения.

Растворение большинства солей, в том числе и каменной соли, определяется скоростью диффузионных процессов. При диффузионном процессе растворения у поверхности растворяемого вещества образуется нестандартный (пограничный) слой раствора, через который и происходит диффузия растворенного вещества, определяющая скорость процесса растворения в целом.[2]

Вдали от поверхности растворения существует область развитой турбулентности, в которой за счет турбулентных пульсаций и перемешивания концентрация раствора постоянна ($C=C_0$). В собственно турбулентном пограничном слое с приближением к поверхности растворения происходит уменьшение средней скорости растворения по логарифмическому закону. В этой области молекулярная вязкость и диффузия не играют заметной роли. Ближе к поверхности соли в вязком подслое турбулентные пульсации становятся очень малыми. Однако поскольку коэффициент диффузии в тысячу раз меньше, чем кинематическая вязкость, остатки турбулентных пульсаций переносят больше вещества, чем молекулярная диффузия.

Только в самой глубине вязкого подслоя δ_0 молекулярный механизм начинает преобладать над турбулентным. Здесь поток вещества подчиняется закону:

$$j = -D \frac{\partial c}{\partial y},$$

где D – коэффициент диффузии.

При граничных условиях $y=0$; $C=C_H$, получаем распределение концентрации в слое IV:

$$C_{IV} = \frac{-j}{D}y + C_H$$

где $y < \delta$.

В вязком подслое поток вещества подчиняется закону:

$$j = -D_{\text{турб.}} \frac{\partial c}{\partial y},$$

где $D_{\text{турб.}} \approx \frac{v_0 y^4}{\delta_0}$

При $y = \delta$, $C_{IV} = C_{III}$, то есть

$$C_{III} = C_H - \frac{j\delta}{D} - \frac{j\delta_0^3}{3v_0} \cdot \left\{ \frac{1}{\delta^3} - \frac{1}{y^3} \right\},$$

где $\delta \leq y \leq \delta_0$.

За пределами пограничного слоя за счет турбулентного перемешивания концентрация имеет постоянное значение C_0 . При $y = d$; $C_{II} = C_0$; $y = \delta_0$; $C_{II} = C_{III}$, можно показать, что поток вещества с поверхности соли в воду (или сходных с ней жидкость, для которых критерий Прандтля $Pr \approx 103$), равен:

$$j = \frac{D(C_H - C_0)}{\delta \left[\frac{4}{3} - \frac{\sqrt{\gamma}}{\beta \cdot 10^{3/4} \cdot Pr^{3/4}} \cdot \ln \frac{\delta_0}{d} \right]},$$

где γ и β – константы, мало отличающиеся от единицы.

Перенос вещества в области ламинарного движения раствора осуществляется механизмом молекулярной диффузии. Уравнение конвективной диффузии записывается в общем виде:

$$\frac{dc}{d\tau} + \text{div}(c \cdot \vec{v}) = -\text{div} \vec{j}_c + I,$$

где C – концентрация; \vec{v} – скорость движения всей среды; \vec{j}_c – диффузионный поток; I – мощность источников или токов.

Если в жидкости содержится R –компонентов, включая в это число и сам растворитель, тогда:

$$\frac{\partial c_k}{\partial \tau} + \text{div}(c_k \cdot \vec{v}) = -\text{div} \vec{j}_c + I_k,$$

где C_k – концентрация k -компонента, связанная с плотностью смеси ρ соотношением:

$$\rho = \sum_k C_k;$$

\vec{j}_c – диффузионный поток, равный $\vec{j}_c = \sum_k C_k (\vec{v}_k - \vec{v})$; \vec{v} – среднemasсовая скорость: $\vec{v} = \frac{1}{\rho} \sum_k C_k \vec{v}_k$; \vec{v}_k – скорость движения k -компонента.

В общем случае молекулярный поток вещества \vec{j}_c определяется не только градиентом концентрации, но и градиентом температуры и давления:

$$\frac{\partial c_K}{\partial \tau} + \vec{v} \cdot \nabla c_K + C_K \operatorname{div} \vec{v} = \operatorname{div} [D \cdot \nabla C_K + \rho K_T \nabla \ln T + \rho K_P \nabla \ln P] + I_K,$$

Для несжимаемой жидкости $\operatorname{div} \vec{v} = 0$. Первый член в квадратных скобках характеризует концентрационную диффузию (закон Фика); второй – термодиффузия (эффект Соре); третий – эффект бародиффузии (под действием общего градиента давления смеси); где K_T и K_P – коэффициенты термо- и бародиффузии.

Литература.

[1]. Аренс В. Ж. Физико-химическая геотехнология. Изд-во Московского государственного горного университета. Серия: Высшее горное образование, 2001.

[2]. Хчеян Г. Х., Нафтулин И. С. Геотехнологические процессы добычи полезных ископаемых. М.: Недра, 1993.

Китаева Тамара Сергеевна — канд. техн. наук, доцент кафедры "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

А.К. Горбунов, А.Н. Потапова

ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ В ПАМЯТИ, РАБОТАЮЩЕЙ С ОШИБКАМИ.

КФМГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В работе рассматриваются устройства хранения двоичной информации (памяти) из ненадежных элементов, блок-схема которых представлена на рис.1.



Рис.1

Изображённые на рис.1 ячейки памяти являются двоичными, т.е. в каждой из них может содержаться один из двух символов: 0 или 1. Корректирующий блок строится из сумматоров по модулю 2 и пороговых элементов. Память работает следующим образом.

Информацией, подлежащей хранению, являются кодовые слова некоторого блочного кода \mathcal{Y} длины N . В момент времени $t = 0$ одно из M кодовых слов кода V , возможно искажённое шумом, изменяющим независимо с вероятностью P_o компоненты кодового слова, помещается в N ячеек памяти. В моменты времени $t = 0, 1, \dots$ корректирующий блок выполняет исправление ошибок, которые возникают из-за ненадежной работы как ячеек памяти так логических элементов самого корректирующего блока. Для простоты изложения здесь и ниже предполагается, что логические элементы, а, следовательно, и весь корректирующий блок в целом работают мгновенно.

Будем считать, что за время хранения T произошла ошибка в памяти, если хотя бы в один из моментов времени $t = 0, 1, \dots, T$ кодовое слово вышло за пределы соответствующей ему области декодирования Y_i ,

$Y_i \cap Y_j = 0, i \neq j, 1 \leq i, j \leq M$. Вероятность ошибки за время T при хранении $i=0$ кодового слова кода обозначим через $P_i(T)$, а общее число элементов в памяти через S . Положим $P(T) = \sum P(\bar{x}_i) P_i(T)$, где суммирование проводится по всем кодовым словам, а память через $P(\bar{x}_i)$ - некоторое заданное распределение вероятностей на множестве кодовых слов.

В работе [I] рассматривалась задача построения памяти, в которой используется конечное число $\rho = S/\log M$ элементов на один бит хранящейся информации и для которой $P(T) \rightarrow 0$ при $N \rightarrow \infty$ и фиксированной относительной емкости памяти $R_0 = \log M / N$. Для произвольных чисел $0 < R < 1$ и целого $T > 0$ было доказано существование памяти, для которой $\rho \leq \rho_0, R_0 \geq R$ и $P_i(T) \leq (T+1) A_i N^{-a_i}, 1 \leq i \leq M$, где $\rho_0 \geq 0, A_i > 0$ и $a_i > 0$ - некоторые постоянные, независимые от N . В работе [I] для вероятностей $P_i(T), 1 \leq i \leq M$ была получена новая граница: $P_i(T) \leq (T+1) \exp\{-N^{a_2} E_1\}$, где $0 < a_2 < 1$ и $E_1 > 0$ - некоторые постоянные, независимые от N .

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы для произвольных чисел $0 < R < 1$ и целого $T > 0$ доказать существование памяти, для которой $\rho \leq \rho_1, R_0 \geq R$ и $P_i(T) \leq (T+1) \exp\{-NE_1\}, i = 1, \dots, M$, при некоторых постоянных $\rho_1 > 0, E > 0$, независимых от N . При решении этой задачи используется метод построения низко плотностных кодов с заданными свойствами, развитый в [I].

Как в данной работе, так и в работе [I], существенным является допущение того, что все элементы памяти (ячейки памяти, логические элементы) могут совершать случайные ошибки. Под ошибками элементов понимается следующее. Сумматор или пороговый элемент совершает ошибки при выполнении некоторой операции, если результат этой операции на выходе элемента является неверным. Ячейка памяти совершает ошибку в некотором интервале времени, если символ, содержащийся в ячейке памяти в начальный момент, изменяется в результате действия шума к концу интервала. В

данной работе относительно ошибок элементов предполагается следующее.

Вероятности ошибок каждого порогового элемента и сумматора при отдельной операции каждой ячейки памяти за единичный интервал времени не превышает чисел P_d, P_a и P_r , соответственно, при любых значениях входов логических элементов и любых содержащихся в ячейках памяти символах.

Ошибки в различных элементах и в различные интервалы времени независимы.

Основной результат работы можно сформулировать в виде следующей теоремы.

Теорема.

Для произвольного числа $0 < R < 0$ и достаточно большого можно указать независящую от N и расположенную около нуля область вероятностей P_0, P_d, P_a и P_r такую, что для любых входящих в нее вероятностей существует память, для которой $\rho \leq \rho_1, R_0 \geq R$ и

$$P_i(T) \leq (T + 1) \exp\{-NE_1\}, \quad 1 \leq i \leq M \quad (1)$$

где $\rho_1 > 0$ и $E > 0$ - некоторые постоянные, независящие от N .

Теорема может быть уточнена указанием явных выражений или соотношений для ρ_1, E и области допустимых значений параметров P_0, P_d, P_a и P_r .

Литература

1. M.G.Taylor. Reliable Information Storage in Memoris Designed from Unreliable Components. BSTJ, 2009.

Горбунов Александр Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Физика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf_MGTU_FIZ@mail.ru.

Потапова Анна Николаевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: viky-60@yandex.ru.

Н.В. Кирюхина, А.Г. Карпушин, Л.Н. Сережкин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАКЕТА УСТРОЙСТВА АБСОРБЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ ПАРОГАЗОВОЙ СМЕСИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Исследование осуществляется по Соглашению о предоставлении субсидии между Министерством образования и науки Российской Федерации и ЗАО НПВП «Турбокон» № 14.576.21.0049 от 26.08.2014г. по теме «Прикладные научно-технические разработки в обеспечение создания энергоблока мощностью 300 МВт с ультрасверхкритическими параметрами пара на базе угольных котлов с газовым перегревом пара и получением коэффициента полезного действия не менее 53%» в соответствии с договором № 14066 от 10.09.2014г. между ФГОУ ВПО «Калужский государственный университет им. К.Э.Циолковского» и ЗАО НПВП «Турбокон».

Цель работы заключается в исследовании растворимости углекислого газа в смеси с водяным паром в воде на макете устройства абсорбции с большим содержанием неконденсирующихся газов и разработке рекомендаций по расчету и конструированию экспериментального образца системы утилизации углекислого газа в конденсационном устройстве энергоблока с ультрасверхкритическими параметрами.

Особенность процессов, происходящих в конденсационном устройстве энергоблока с состоит в том, что одновременно с поглощением CO_2 происходит конденсация водяного пара из смеси $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$. Это изменяет температурный режим процесса абсорбции и, следовательно, негативно влияет на характер поглощения CO_2 .

В отличие от абсорберов, предназначенных для утилизации CO_2 из смеси с воздухом или газообразными продуктами сгорания, в рассматриваемой ситуации в составе смеси имеется примерно равное объемное содержание углекислоты и водяного пара. Из этого вытекают два следствия:

- парциальное давление углекислого газа в смеси составит около половины общего давления (атмосферного или повышенного);
- процесс растворения CO_2 сопровождается дополнительным нагревом поглотителя за счет конденсации водяных паров.

Второе следствие существенно отличает работу абсорбера от классических промышленных вариантов [1].

Экспериментальные исследования растворимости углекислого газа в смеси с водяным паром в воде проводились на макете устройства абсорбции с большим содержанием неконденсирующихся газов в паре. Абсорбер представляет собой колонну с патрубками подвода и отвода поглощаемой среды и поглотителя. Тип абсорбера – тарельчатый, тип тарелок – ситчатые. Количество тарелок – пять штук. Тарелки снабжены переливными устройствами (патрубками). С целью визуализации процесса абсорбции

корпус абсорбера выполнен из стеклянной трубы. Направление движения рабочих сред – противоток. Поглощаемым компонентом является углекислый газ в смеси с водяным паром, поглотитель – вода. Объем абсорбера составляет 0,0048 м³.

На первом этапе исследования растворимости углекислого газа с большим его содержанием в паре проводились на 2 режимах, которые устанавливались следующим образом: при постоянном расходе воды на поглощение углекислого газа изменяются расходы пара и расходы углекислого газа. Экспериментальные данные были получены при массовом расходе пара на входе в абсорбер $G_{\text{п}}=0,00283$ кг/с, при расходе воды (абсорбента) $G_{\text{в}}=0,05439$ кг/с и $\text{CO}_2 G_{\text{CO}_2} = 0,0035$ и $0,0036$ кг/с.

Фотографии работы абсорбера в этих режимах показаны на рисунке 1. Поверхность контакта развивается потоками газа, распределяющегося в жидкости в виде пузырьков и струек, наблюдается барботаж. Из рисунка видно, что не все тарелки задействованы в этом процессе. В режиме 1 не рабочими являются четвертая и пятая тарелки, в режиме 2 не рабочей является пятая тарелка (отсчет сверху).

Эксперимент показал пульсирующий режим работы абсорбера, что затрудняет определение выхода на рабочий режим.

Обработка экспериментальных данных производилась по следующей методике.

Определяется расход углекислого газа в камеру смешения по формуле:

$$G_{\text{CO}_2} = 48 \frac{P_0 F}{\sqrt{T_0}}, (1)$$

где F – критическое сечение измерительного сопла на линии газопровода CO_2 , P_0 , T_0 – давление и температура CO_2 перед измерительным соплом.

2. Определяется расход пара на входе в камеру смешения по формуле

$$G_{\text{п}} = \frac{N_{\text{э}} - Q_{\text{пот}}}{r}, (2)$$

где $N_{\text{э}}$ – электрическая мощность тэнов парогенератора, кВт, $Q_{\text{пот}}$ – тепловые потери парогенератора и паропроводов, определяемые специальным опытом, кВт, r – теплота фазового перехода при давлении в парогенератор, кДж/кг.

3. Определяется расход воды на входе в абсорбер

$$G_{\text{в}} = k\sqrt{\Delta p}, (3)$$

где Δp – перепад давлений на расходомере воды, k – коэффициент расхода измерительной диафрагмы.

4. Определяется расход углекислого газа на выходе

По показаниям ротаметра на выходе определяется объемный расход парогазовой смеси V и давление P .

По температуре смеси в линии выхода t определяем парциальное давление пара $P_{\text{пп}}$.



Рисунок 1. Работа абсорбера в режимах 1 (слева) и 2 (справа)

Парциальное давление газа в смеси

$$P_{гп} = P - P_{пп}, (4)$$

Объёмный расход углекислого газа

$$V_{г2} = \frac{P_{гп}}{P} V, (5)$$

5. Массовый расход углекислого газа

$$G_{г2} = \frac{V_{г2}}{v_{co_2}}, (6)$$

где v_{co_2} – удельный объем CO_2 при давлении P и температуре $t_{на}$ выходе.

6. Объёмный расход пара на выходе,

$$V_{п2} = \frac{P_{пп}}{P} V, (7)$$

7. Массовый расход пара на выходе

$$G_{п2} = \frac{V_{п2}}{v_{п}}, (8)$$

где $v_{п}$ – удельный объем пара.

8. Плотность смеси на выходе

$$\rho_{см} = \frac{G_{г2} + G_{п2}}{V}, (9)$$

9. Количество CO_2 , поглощенного в процессе абсорбции

$$\Delta G_{co_2} = G_{co_2} - G_{г2}, (10)$$

10. Изменение концентрации CO_2 в воде

$$C_{CO_2} = \frac{\Delta G_{CO_2}}{G_B}. \quad (11)$$

Для математической обработки данных использовался математический пакет Mathcad 15. В таблице 1 представлены сравнительные результаты различных режимов работы абсорбера.

Таблица 1- Результаты обработки экспериментальных данных

Режим	Расход выпара на выходе из ра, G_{CO_2}	Расход воды для поглощения CO_2 на входе в абсорбер, G_B	Расход CO_2 на входе в камеру $G_{Г2}$	Количество CO_2 поглощенного в абсорбере ΔG_{CO_2}
№	кг/с	кг/с	кг/с	кг/с
1	0,003697	0,0545399	0,0037638	0,0001529
2	0,003519	0,0539263	0,0035898	0,0001518

Обобщение результатов проводилось в следующей последовательности.

1. Определяется равновесная концентрация CO_2 при нормальных условиях ($P = P_0$) по справочным данным [3].

2. Вводится поправка на давление газа по закону Дальтона

$$C_p = C_0 \frac{P}{P_0}, \quad (12)$$

3. Определяется среднелогарифмическая разность концентраций в абсорбере

$$\Delta C_{\text{лог}} = \frac{C_{\text{ВЫХ}} - C_{\text{ВХ}}}{\ln \frac{C_p - C_{\text{ВХ}}}{C_p - C_{CO_2}}}, \quad (13)$$

где $C_{\text{ВХ}} \approx 0$, C_{CO_2} – концентрация CO_2 в воде на выходе аппарата.

4. Для оценки ожидаемых результатов вычисляется коэффициент массоотдачи

$$\beta = \frac{\Delta G_{CO_2}}{\frac{V_{\text{аб}}}{f_{\text{аб}}} \Delta C_{\text{лог}}}, \quad (14)$$

где $V_{\text{аб}}$ – объем активной зоны абсорбера, $f_{\text{аб}}$ – его сечение.

Эти же данные могут быть представлены в безразмерном виде зависимости критерия Шервуда Sh

$$Sh = \frac{\beta \frac{V_{\text{аб}}}{f_{\text{аб}}}}{D}, \quad (15)$$

от относительной концентрации $\Delta C / (C_p - C_{\text{ВХ}})$, где D – коэффициент диффузии углекислого газа.

Для оценки результатов эксперимента так же использовался математический пакет Mathcad 15. В таблице 2 представлены сравнительные результаты различных режимов работы абсорбера.

Таблица 2 - Сравнительные результаты различных режимов работы абсорбера

Режим	Расход выпара на выходе из абсорбе- ра, G_{CO_2}	Расход воды для поглощения CO ₂ на входе в абсорбер, G_v	Расход- CO ₂ на входе в камеру смешения G_{r2}	Коэффи- циент массоот- дачи, β	Критерий Шервуда, Sh
№	кг/с	кг/с	кг/с	кг/(м.с)	-
1	0,003697	0,0545399	0,0037638	0,082	6,211*10 ³
2	0,003519	0,0539263	0,0035898	0,092	7,034*10 ³

На экспериментальном стенде макета устройства абсорбции углекислого газа в конденсационном устройстве выявлены следующие недостатки: затруднено определение малых расходов углекислого газа на входе в адсорбер, невозможна работа абсорбера при расходах воды более 0,07 кг/с и углекислого газа более 0,037 кг/с.

Для устранения выше указанных недостатков при разработке эскизной конструкторской документации на экспериментальный образец системы утилизации углекислого газа рекомендуется заменить систему определения расхода CO₂ на входе в абсорбер на аналогичную по перепаду давлений (такая используется на выходе из абсорбера) и снизить уровень верхней тарелки.

Экспериментальное исследование будет продолжено. Предполагается исследовать зависимость коэффициента массоотдачи от теплофизических параметров (давление, температура, расход абсорбента) и обобщить полученные результаты в критериальной форме.

Литература

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. В 2 ч. Москва, Химия, 2002.
2. Инженерный справочник DPVA.info. Физический справочник. URL: <http://www.dpva.info/Guide/GuidePhysics> (дата обращения 21.10.2015).

Кирюхина Наталия Владимировна — доцент, канд. пед. наук КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: 79158975732@yandex.ru.

Карпушин Алексей Георгиевич - д-р физ.-мат. наук, стаций научный сотрудник КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: kaf10@tksu.ru.

Сережкин Леонид Николаевич - канд. техн. наук, и.о. зав. кафедрой общей физики КГУ им. К.Э. Циолковского. E-mail: serezhkinleon@mail.ru.

СЕКЦИЯ 16.

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И СИСТЕМЫ;
ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ**

П.А.Перевезенцев, К.В.Шершнев

СРАВНЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЯЗЫКА АССЕМБЛЕРА И C++

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

При планировании программного проекта имеется огромный выбор языков программирования, в лабиринтах которых легко заблудиться. При выборе языка программирования нужно учитывать множество факторов. Не существует какого-то одного языка, который является наилучшим выбором.

Можно отдать предпочтение определенным факторам, таким как производительность и безопасность корпоративных приложений, по сравнению с другими факторами, такими как количество строк кода. Но может оказаться важным количество строк кода; очевидным выбором будет язык, позволяющий выполнить задачу при помощи 10 строк кода вместо 20.

Любое решение сопряжено с какими-то компромиссами. Правильный выбор языка программирования поможет создать компактное, простое в отладке, расширении, документировании и исправлении ошибок решение. При выборе языка программирования учитываются следующие факторы:

- Целевая платформа
- Гибкость языка
- Время исполнения проекта
- Производительность
- Поддержка и сообщество

Если выбор зависит от имеющихся ресурсов, результат может быть весьма неочевидным. Самыми производительными языками на данный момент считаются c++ и язык ассемблера. Язык ассемблера будет проигрывать c++ во времени исполнения (время, необходимое для создания рабочей версии программы), но выигрывать в производительности.

Каждая программа и платформа имеет определенный предел производительности, и на эту производительность влияет используемый при разработке язык.

Для сравнения скорости работы программ, написанных на разных языках, в одинаковой среде, был составлен равноценный алгоритм на языке ассемблера и на c++ (рисунок 1). Алгоритм заключается в выполнении математических действий во вложенном цикле. Число итераций составляет: $32000^2 = 1024000000$. Число математических операций за одну итерацию 4. Сложность алгоритма $O(n^2)$. Общее количество арифметических операций 4096000000.

Тест проводился на компьютере под управлением операционной системы Windows 8.1 со следующими характеристиками:

- CPU: AMD 8 ядер частотой 3.6 GHz
- RAM: 8GB

Код на C++	Код на языке Assembler
<pre> #include "stdafx.h" int main() { short int n = 32000; short int sum = 0; for (short int i = n; i > 0; i--) { for (short int i = n; i > 0; i- -) { sum += i; sum -= i; sum = 1; sum *= i; sum /= i; } } return 0; } </pre>	<pre> .model small .stack 100h .data .code .startup MOV AX, 0 MOV CX, 32000 MOV BX, 32000 loop_1: MOV DX, CX MOV CX, 32000 loop_2 : ADD AX, BX SUB AX, BX MOV AX, 1 MUL BX DIV BX LOOP loop_2 MOV CX, DX LOOP loop_1 .exit 0 End </pre>

Рисунок 1. Исходный код на C++ и языке ассемблера

После компилирования оба exe файла получились размером 35 КБ. Можно сделать вывод что преимуществ в размерах выходных файлов нет.

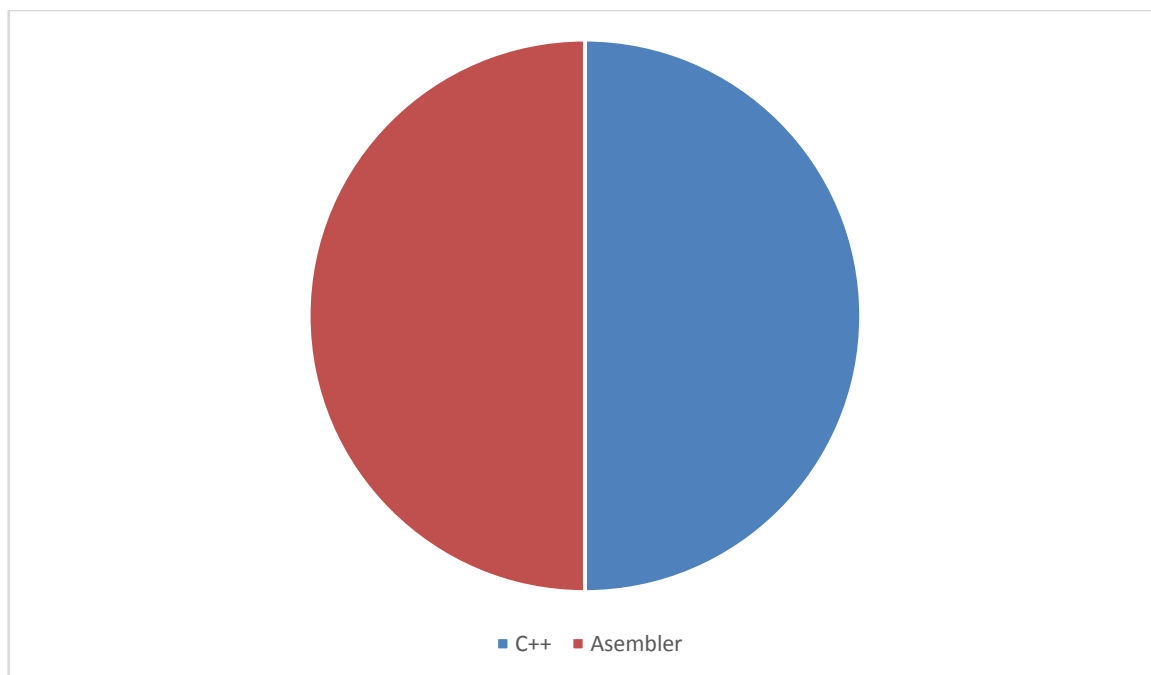


Рисунок 2. Размеры выходных файлов.

Для замера времени исполнения exe-файла был написан bat-файл (рисунок 2), который выполняет замеры времени до и после запуска программы, после вычитания получается время исполнения программы.

```

@echo OFF
set STARTTIME=%TIME%

cpp.exe

set ENDTIME=%TIME%
set /A STARTTIME=(1%STARTTIME:~0,2%-100)*360000 +
(1%STARTTIME:~3,2%-100)*6000 + (1%STARTTIME:~6,2%-100)*100 +
(1%STARTTIME:~9,2%-100)
set /A ENDTIME=(1%ENDTIME:~0,2%-100)*360000 +
(1%ENDTIME:~3,2%-100)*6000 + (1%ENDTIME:~6,2%-100)*100 +
(1%ENDTIME:~9,2%-100)
set /A DURATION=%ENDTIME%-STARTTIME%
echo DURATION_CPP: %DURATION% in centiseconds
echo %DURATION% >> cpp_time.txt
set STARTTIME=%TIME%

asm.exe

set ENDTIME=%TIME%

```

```

set /A STARTTIME=(1%STARTTIME:~0,2%-100)*360000 +
(1%STARTTIME:~3,2%-100)*6000 + (1%STARTTIME:~6,2%-100)*100 +
(1%STARTTIME:~9,2%-100)
set /A ENDTIME=(1%ENDTIME:~0,2%-100)*360000 +
(1%ENDTIME:~3,2%-100)*6000 + (1%ENDTIME:~6,2%-100)*100 +
(1%ENDTIME:~9,2%-100)
set /A DURATION=%ENDTIME%-%STARTTIME%
echo DURATION_ASM: %DURATION% in centiseconds
echo %DURATION% >> asm_time.txt

```

Рисунок 3. Batch file для измерения времени работы программы.

Последовательный десятикратный запуск batch file скрипта дал результаты:

Таблица 1. Результаты эксперимента.

N	Алгоритм на C++, мс	Алгоритм на языке Assembler, мс
1	1936,00	1070,00
2	1932,00	1078,00
3	1956,00	1106,00
4	1925,00	1056,00
5	1948,00	1056,00
6	1926,00	1060,00
7	1921,00	1064,00
8	1913,00	1045,00
9	1926,00	1068,00
10	1939,00	1054,00
Среднее	1932,20	1065,70

Визуализировав данные (рисунок 3), можно увидеть, что алгоритм, написанный на C++, выполняется почти в 2 раза дольше, чем тот же алгоритм, написанный на языке ассемблера.

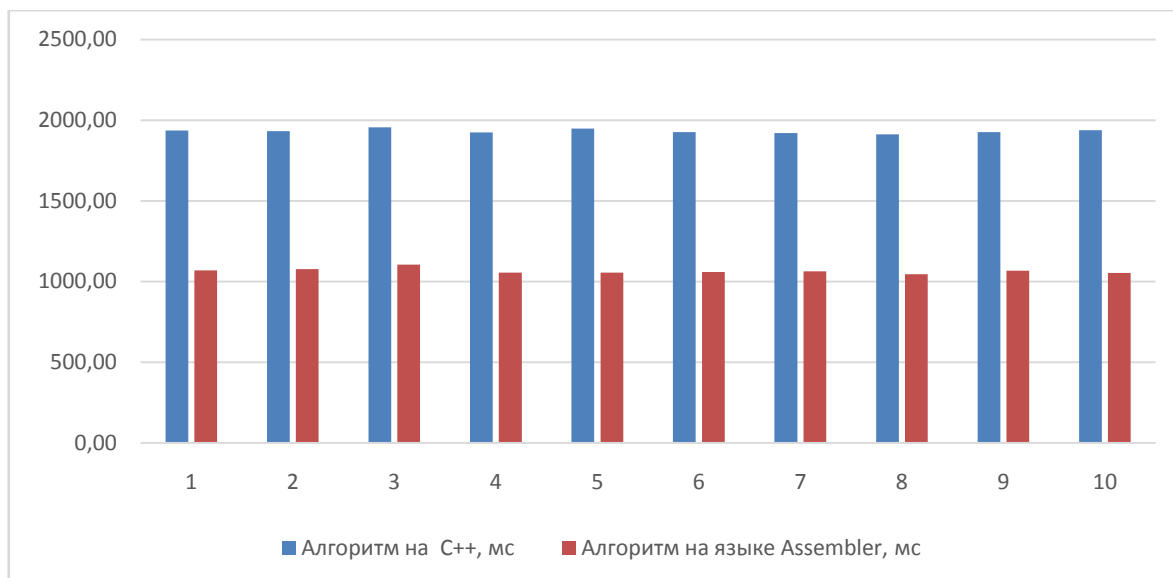


Рисунок 4. Визуализация полученных данных.

Следовательно, можно сделать вывод, что алгоритм, написанный непосредственно на языке ассемблера, будет выполняться в 2 раза быстрее, чем алгоритм, реализованный при помощи с++. Но так как с++ является языком высокого уровня, время на разработку такой же программы потратится намного меньше.

Литература:

1. Пирогов В. А. Ассемблер для Windows. Петербург. Изд-во БХВ. Сер. Профессиональное программирование, 2012, 896 с.
2. Ричард Саймон. Microsoft Windows API Справочник системного программиста. Москва. Изд-во ТИД "ДС", 2004, 1216 с.
3. Уильям Р. Станек. Командная строка Microsoft Windows. Справочник администратора. Москва. Изд-во: Русская Редакция, 2009, 480 с.

Перевезенцев Павел Александрович– студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: perevezenzev@gmail.com.

Шершнев Кирилл Вячеславович– студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kir.sher99@gmail.com.

И.В. Жукова

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ОБМЕНА ДАННЫМИ WEB-САЙТОВ С ПРОГРАММОЙ 1С

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Базы данных делового назначения и управленческие программы фирмы 1С применяются при создании интернет-магазинов. Для упрощения бухгалтерского учета и улучшения функционирования интернет-магазина необходимо обеспечить обмен данными между сайтом и программой 1С. Существует несколько вариантов данной интеграции.

- **Выгрузка данных в формате CSV.** CSV представляет собой текстовый формат представления табличных данных, разделенных определенным символом, чаще всего запятой. Преимуществом использования этого метода является его универсальность, так как практически все сайты оснащены модулем загрузки данных в формате CSV, файлы имеют относительно маленький размер и высокую скорость обмена. Недостатком данного метода является необходимость привлечения сторонних разработчиков, поскольку конфигурации 1С не имеют встроенных средств выгрузки в указанном формате [1].

- **Использование web-сервисов.** В этом случае обмен данными инициализируется сайтом, web-сервис должен содержать функции получения информации из базы данных, логика взаимодействия должна быть выполнена на сайте интернет-магазина. Такое решение создает угрозу проникновения в базу данных через сеть Интернет, поэтому не пользуется большой популярностью.

- **Выгрузка данных в формате YML.** Данные в формате YML (YandexMarketLanguage) размещаются на торговых площадках Yandex-Market, выгрузка происходит при помощи обработки «Мультиформатная выгрузка номенклатуры, цен, остатков 1С УТ, КА, УПП». \ [2].

- **Файловый обмен данными по стандарту CommerceML.** В данном случае web-сайт взаимодействует с системой 1С. Формат взаимодействия описан XML-схемой стандарта CommerceML, которая предусматривает обмен документами, коммерческими предложениями и каталогами товаров. Преимуществом данного метода является простота настройки базы данных для взаимодействия: в разделе «Администрирование» конфигурации 1С необходимо воспользоваться флагом «Обмен данными с сайтом» и отрегулировать настройки обмена с помощью гиперссылки «Узлы обмена с сайтами». Зачастую CommerceML формат используется с доработанным функционалом, который зависит от специфики конкретного web-сайта. Например, CommerceML в комбинации с протоколом SFTP представляет собой оптимальный метод выгрузки информации и обеспечивает повышенную отказоустойчивость системы и гибкость настройки объектов обмена без программирования [2, 3, 4].

В заключении, следует отметить, что наиболее популярным методом взаимодействия web-сайтов с системой 1С является обмен данными по стандарту CommerceML, так как этот метод интеграции является наиболее простым, эффективным, обеспечивает высокий уровень безопасности и входит в стандартную поставку 1С. Зачастую CommerceML формат используется с доработанным функционалом, который зависит от специфики конкретного web-сайта.

Список использованных источников

1. Кашаев С. М. *Программирование в 1С: Предприятие 8.3*, Санкт-Петербург, Питер, 2014, 313 с.+CD-ROM.
2. Душков Д.В. *10 способов интеграции 1С с сайтом*. URL: <http://www.cmsmagazine.ru/library/items/programming/10-versions-of-friends-site-with-1c/> (дата обращения 28.10.2015).
3. <http://www.1c.ru/> (дата обращения 28.10.2015).
4. <https://www.1c-bitrix.ru/products/cms/> (дата обращения 28.10.2015).

Жукова Ирина Владиславовна– студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zhuckizhuk@gmail.com.

А.М.Донецков, В.А.Прохоров, В.В.Шмелев

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА «УМНЫЙ ДОМ»

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В эпоху информационных технологий прослеживается тенденция к автоматизации в различных областях деятельности человека, огромное внимание уделяется разработке интерфейсов обмена информацией между человеком и компьютером. Для создания наиболее комфортных условий для проживания человека была создана концепция «умный дом». Система «умный дом» построена на использовании микроконтроллеров в доме и за его пределами. Микроконтроллеры, используемые в системе, позволяют обработать информацию, полученную с датчиков, которая затем обрабатывается по алгоритмам, реализованных на различных языках. Эффективность алгоритма зависит не только от квалификации программиста, но и от особенностей языка программирования. Язык Си и ассемблер наиболее часто используется для программирования микроконтроллеров.

При программировании на ассемблере обращение происходит непосредственно к компьютерным комплектующим и всей периферии напрямую. Такое обращение позволяет основательно вникнуть в тонкости языка. Это способствует быстрой отладке программы. Ассемблер позволяет более качественно освоить языки высокого уровня. Ассемблер предоставляет больше возможностей при работе с переменными, позволяет самому выбирать, какие данные разместить в регистрах, а какие – в ОЗУ. Ассемблер требует четкого знания принципа работы микроконтроллера, времени выполнения команд.

В случае с языком Си ситуация несколько иная. Если необходимо заниматься ручной адресацией различных видов памяти, работой с прерываниями, использованием многопоточных процессов, использующих одни и те же ресурсы, то Си проигрывает ассемблеру. Компилятор самостоятельно размещает переменные в оперативной памяти, используя регистры только для временных данных. Компилятор создает правильно функционирующую программу, но если необходимо отладить программу на уровне ассемблера, то разбираться в ассемблерном коде, сгенерированном компилятором, значительно сложнее. Поэтому для серьезных разработок все равно нужно знать ассемблер и представлять, как работает микроконтроллер.

При программировании некоторых микроконтроллеров существуют определенные ограничения. Они связаны с малым числом ресурсов и низкой разрядностью. При использовании всех целых переменных, по размеру превышающие 1 байт (т. е. занимающих 2 и 4 байта) результаты арифмети-

ческих операций вычисляются в несколько циклов. Вещественная арифметика осуществляется в несколько десятков циклов. Во многих микроконтроллерах простота арифметико-логического устройства позволяет выполнять операцию аппаратного умножения, поэтому компилятор заменяет его циклическим сложением. Малое количество оперативной памяти не позволяет полноценно использовать стек, число вложений подпрограмм также ограничено. В данном случае выгоднее использовать ассемблер.

Вывод: в результате сравнения Си и ассемблера были выявлены несколько основных достоинств и недостатков данных языков. Основной трудностью, возникающей при написании программы на ассемблере является аппаратно- и платформозависимость ассемблера. Ассемблер не подходит для решения объемных задач. Большинство микроконтроллеров поддерживают язык Си, однако трудности, связанные со слабым пониманием работы с указателями, с динамическим выделением памяти приводят к семантическим ошибкам. На основании данного анализа можно сказать, что ассемблер не потерял своей актуальности.

Использованная литература:

1. В.И. Юров. *Assembler: Учебник для вузов*. Издательство «Питер» - 2003, 640 с.

2. Пол Дейтел, Харви Дейтел. *Как программировать на С*. Издательство «Бином» - 2014, 1008 с.

3. А.К. Нарышкин. *Цифровые устройства и микропроцессоры*. Издательство «Москва» - 2006, 320 с.

4. В.Н. Баранов. *Применение контроллеров AVR: схемы, алгоритмы программы*. Издательство «Додека XXI век» - 2004, 288 с.

Донецков Анатолий Михайлович – ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dam@kaluga.ru.

Прохоров Владимир Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vovchik14021997@yandex.ru.

Шмелев Владислав Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shmlwlad@bk.ru.

Т.А. Онуфриева, А.А. Зайцева

МАРШРУТИЗАЦИЯ В СЕТЯХ IP-ТЕЛЕФОНИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Телефония – важный ресурс для бизнеса. Передача речевого трафика по IP-сетям получает все большее признание в мире, значительно снижая стоимость телефонных разговоров. Сеть IP-телефонии представляет собой совокупность оконечного оборудования, каналов связи и узлов коммутации [1]. Сжатые пакеты данных поступают в глобальную или локальную сети и передаются на основе адреса. При этом используется IP-адресация, со всеми присущими ей особенностями, такими как маршрутизация. Определение маршрута – это выбор последовательности транзитивных узлов и их интерфейсов, через которые надо передавать данные, чтобы доставить их адресату. Составные сети, в которых требуется маршрутизация пакетов на сетевом уровне, объединяются с помощью маршрутизаторов. Проблема выбора маршрутов в сети является проблемой качества работы сети в целом. Построение таких маршрутов довольно сложная задача, особенно она усложняется в случае сложной топологии сети. При построении маршрутов должна учитываться не только топология связей, но и их состояние и пропускная способность. В настоящее время широкое применение получили алгоритмы адаптивной маршрутизации. С помощью таких алгоритмов можно выбрать наиболее близкий к оптимальному маршрут, такое упрощение позволяет ограничить поиск без существенных потерь.

Эффективным методом исследования алгоритмов маршрутизации является имитационное моделирование. Модель топологии сети можно задать в виде графа $G(V, E, W)$, где V – множество вершин, E – множество ребер, W – множество весов ребер (рисунок 1). Вершинами будут являться маршрутизаторы, а ребрами – подсети составной сети. Вершина I является входом (исток), вершина S , является выходом (сток). Пропускная способность от узла к узлу одинакова в обоих направлениях [2].

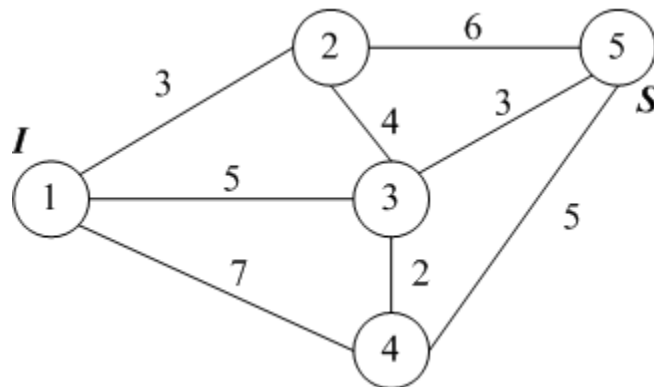


Рисунок 1. IP-сеть, представленная в виде графа.

Структуру IP-сети можно представить в виде графа, который в свою очередь можно преобразовать в сеть Петри (рисунок 2). Преобразование графа в сеть Петри производится по следующим правилам [3]:

- каждой i вершине графа в сети Петри в соответствие ставится позиция с именем i ;
- вместо дуги от вершины i к вершине j , в сети Петри создаются два перехода и две позиции, которые содержат количество фишек, равное пропускной способности этих дуг;
- посредством этих переходов реализуется движение информации;
- роль информационного ресурса (данных) будут выполнять фишки.

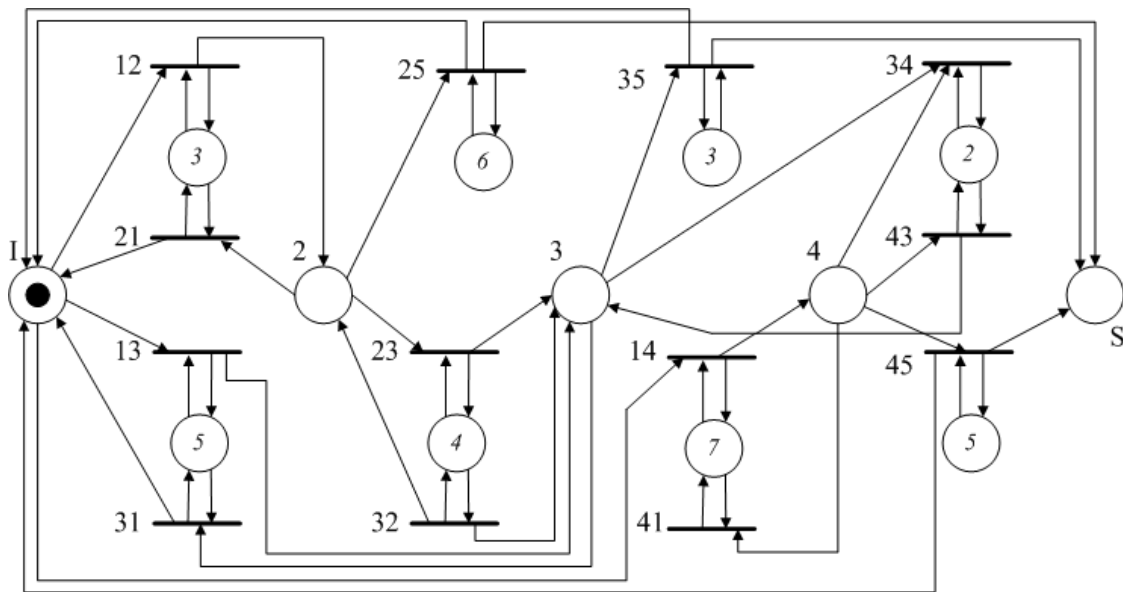


Рисунок 1. IP-сеть, представленная в виде графа.

Сети Петри – математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем, впервые описанный Карлом Петри в 1962 г. Анализ сетей Петри помогает получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы.

Сеть Петри называется совокупность множеств $C = \{P, T, I, O\}$, где:
 P – конечное множество, элементы которого называются позициями;
 T – конечное множество, элементы которого называются переходами,
 I – множество входных функций, $I: T \rightarrow P$;
 O – множество выходных функций, $O: T \rightarrow P$.

Минусом моделирования алгоритма маршрутизации сетями Петри является недетерминированность срабатывания переходов. Поэтому количество запусков переходов может быть достаточно большим, но в конечном итоге сеть зайдет в тупик и все фишки окажутся в стоке. Для того чтобы упорядочить выполнение сети необходимо ввести расширение – динамические приоритеты.

Учитывая, что в первоначальном графе вершины – маршрутизаторы, а ребра – подсети, для моделирования можно использовать вложенные сети Петри (NP-сети). Это расширение сетей Петри, в котором фишки в разметке сети сами являются сетями Петри и обладают автономным поведением. Особенно такой подход удобен для раскрытия алгоритма маршрутизатора или моделирования работы подсетей. NP-сети не являются Тьюринг полными, но при этом позволяют оценить моделируемую систему более полно, чем обыкновенными сетями Петри. Из-за того, что достижимость, живость и ограниченность неразрешимы для двухуровневых вложенных сетей Петри [4], важна разработка методов и подходов для работы с вложенными сетями Петри.

Анализ сети IP-телефонии представленной в виде сети Петри может использоваться для нахождения блокировок, программной поддержки мониторинга, моделирования и движения данных. При построении модели целесообразно использовать различные расширения. Для того, чтобы пропускать через узлы только определенный тип данных можно ввести раскраску сетей. Фишки трансформируются в объект, который может содержать в себе один или более параметров, каждый из которых может принимать дискретный набор значений. К позициям добавляется информация о типах фишек. К переходам может быть добавлена информация с инструкцией возбуждения перехода в зависимости от значений переменных, содержащихся в фишках. К исходящим дугам добавляется информация о типах фишек, исходящих из перехода и о преобразовании переменных. Для передачи данных между фишками различных цветов используются выражения на дугах. Переменные на дугах, входящих в переход, конкретизируются значениями компонент цветов фишек, находящихся во входной позиции. Выражения на дугах, исходящих из перехода, формируют фишку для выходной позиции. Таким образом, переход может порождать фишки любого цвета.

Важнейшим инструментом анализа модели является граф достижимости. Имея граф достижимости модели, можно проверять важные поведенческие свойства – живость, справедливость, безопасность, и обнаруживать поведения, к которым относятся тупики, активные блокировки, дивергенции, нарушения условий взаимного исключения.

Использование имитационного моделирования сетями Петри позволит промоделировать работу разрабатываемой модели, найти ее узкие места, блокировки как в аппаратной, так и программной части, решить задачу пропускной способности сети и перераспределения трафика.

Список литературы

1. Е.И. Полканов, М.А. Шнепс-Шнеппе, С.В. Крестьянинов Интеллектуальные сети и компьютерная телефония. – М.: Радио и связь, 2001. – 240 с.

2. Т.А. Онуфриева, А.А. Зайцева Моделирование и анализ сети IP-телефонии // Международный научный журнал «Инновационная наука». 2015. №10. С. 99-102.

3. Михайлов А.С. Моделирование сетями Петри решение классической задачи о максимальном потоке // Международный журнал экспериментального образования. 2011. №11. С. 85-89.

4. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределенных систем с объектной структурой – М.: Научный мир, 2004. – 208 с.

Онуфриева Татьяна Александровна— канд. техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети"КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: onufrievata@mail.ru.

Зайцева Анна Алексеевна— студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: neshmet@yandex.ru.

И.Д. Гришин

ОБЗОР ПРОТОКОЛА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВА Б9М2-3 С ЭВМ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время в Вооружённых Силах Российской Федерации (ВСРФ) используется множество электронных устройств, часть из которых оборудована аккумуляторными батареями. Аккумуляторы нужно регулярно заряжать, а также прогнозировать их выход из строя для своевременной замены. [1]

Устройство Б9М2-3 используется ВСРФ для зарядки и диагностики аккумуляторов. Б9М2-3 может работать без участия ЭВМ, но интерфейс устройства не позволяет оперативно использовать получаемую информацию. Для удобства анализа информация выводится на ЭВМ в специальной программе в виде графиков. Связь с ЭВМ осуществляется с помощью СОМ порта (RS-232). Все пакеты начинаются с преамбулы, размером 1 байт (0xFF). Начало обмена данными инициируется ЭВМ с помощью стартового пакета. На устройство отправляется 0xA5, такой же ответ означает начало сеанса. Так же существует пакет остановки сеанса обмена (0x55). [2]

Существует 3 вида пакетов, отправляемых на ЭВМ:

- Информация МКУ (поддерживается не всеми АКБ). Высылается в ответ на запрос для каждого из 2х каналов отдельно (код канала 0x10 или 0x20). Данный пакет размером 54 байт содержит информацию об аккумуляторе, а именно: номер канала, код пакета (идентификатор информации МКУ для данного канала), дата изготовления, количество циклов зарядки-разрядки, номинальная ёмкость, остаточная ёмкость, фактическая ёмкость, температура, серийный номер, его модель, производитель номинальная ёмкость, значения тока и напряжения на клеммах и тип АКБ.

- Динамическая информация. Размер 14 байт. Отправляется на ЭВМ каждые 5-10 секунд во время работы канала. В составе пакета: номер канала, напряжение, сила тока, ёмкость, температура, статус. Данные динамического пакета используется для отображения графиков силы тока и напряжения.

- Записи журнала. Код пакета (0xC3), размер 56 байт. Эти пакеты отправляются в ответ на запрос журнала. Запрос журнала содержит количество последних запрашиваемых записей. Максимальное число записей журнала, хранимых во флэш-памяти устройства, приблизительно равно 4000, запись циклическая.

- Органы управления Б9М2-3 достаточно удобны для использования прибора в полевых условиях, но имея в распоряжении ЭВМ, логично было

бы использовать программу для управления им. Для запуска канала необходимо выбрать тип аккумулятора из большого списка. Небольшой дисплей не позволяет найти нужный тип АКБ достаточно быстро. Кнопки менее удобны, по сравнению с использованием интерфейса программы. Внутри устройства находится 2 платы. Одна из них управляет процессами заряда АКБ на каналах, вторая является посредником между органами управления и первой платой, а также отвечает за обмен данными с ЭВМ. Для организации управления по СОМ порту необходимо внести изменения в прошивку устройства. Так же в прошивке устройства не предусмотрено автоматическое прекращение работы при возникновении нештатной ситуации.

Все вышеизложенное будет учтено при написании программы для взаимодействия с Б9М2-3, аналогичной существующей, но обладающей рядом преимуществ, а именно:

- Кроссплатформенностью. Позволит пользоваться данной программой на любой операционной системе.
- Возможностью управления режимами каналов. Ускорит работу оператора.
- Возможностью работы с несколькими устройствами. В настоящее время одна единица Б9М2 требует одно автоматизированное рабочее место (АРМ). Это преимущество позволит использовать несколько устройств с 1 АРМ, что удешевит комплекс и, следовательно, стоимость обслуживания аккумуляторов.
- Возможностью дистанционного управления. Добавление в функционал программы сетевого взаимодействия позволит проводить мониторинг системы удалённо.

Итак, выше рассмотрен протокол взаимодействия Б9М2 с ЭВМ. Проанализированы основные недостатки и пути их дальнейшего решения.

Список литературы

- [1]. [Электронный ресурс]URL: <https://zakupki.kontur.ru/0348100054411000038>(дата обращения 29.10.2015)
- [2]. [Электронный ресурс]URL: <http://www.denvo.ru/pub/hardware/rs-232.html> (дата обращения 29.10.2015)

Гришин Иван Дмитриевич– студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kefir400@yandex.ru.

Л.А. Щавелев, Н.А. Борсук

ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЕМ КОНТЕНТОМ. СРАВНЕНИЕ И АНАЛИЗ.

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В наше время, всё больше людей стараются обзавестись информационными интернет-ресурсами, будь то интернет-магазин, блог или же портфолио. При этом мало кто хочет задумываться об изучении языков программирования или верстки сайта. В таком случае, на помощь приходят системы управления контентом (CMS) – это своего рода “движки”, созданные веб-программистами, содержащие в себе “костяк” сайта, который впоследствии заполняется необходимым для пользователя контентом. Среди таких систем существуют как платные (коммерческие), так и бесплатные (их можно найти в открытом доступе и не платить за использование).

Рассмотрим, на мой взгляд, самые популярные используемые системы.

1. WordPress

Бесплатная CMS, которая быстро набрала популярность среди новичков из-за своей простоты. Установка не вызывает никаких затруднений, а наполнение контентом не вызывает никаких трудностей у большинства пользователей.

Обладая простотой в использовании, WordPress является менее универсальной системой, так как с её помощью можно быстро и удобно создавать блоги или несложные сайты информативного типа. Для реализации более сложного функционала необходимо “вооружиться” дополнительными знаниями для написания дополнительных скриптов.

Основным минусом этой системы является возможность сбоев при большом количестве пользователей. [1]

2. Joomla! (Джумла)

Бесплатная CMS, которая имеет обширную область применения. Эта система является гораздо более универсальной, по сравнению с WordPress. Джумла позволяет создавать как простые, так и более сложные сайты (интернет-магазин, форум, чат), благодаря огромному числу модулей и шаблонов. Учитывая все эти плюсы, можно сказать, что система несколько сложнее в освоении, чем WordPress. Правда в интернете давно существует большое количество русскоязычных руководств и обучающих видео, поэтому заинтересованному человеку не составит труда найти необходимую для него информацию.

К основным минусам можно отнести медленную работу при больших нагрузках, а порой и проблемы с индексацией сайта на “слабых” хостингах. Так же, по сравнению с другими CMS с открытым доступом, Джумла имеет больше уязвимостей в коде. [2]

3. 1С-Битрикс

Платная CMS, которая может вызвать затруднения во время установки. Перед установкой может возникнуть необходимость выбора хостинга, для корректной работы системы.

Основное преимущество Битрикс – его многофункциональность. Разработчики предлагают множество готовых решений, помимо пакетных сборок. При установке можно создать готовый сайт с помощью одного из стандартных шаблонов. По сравнению со многими CMS, высокая надёжность и стабильное обновление этой системы являются не менее важными преимуществами.

Одним из основных минусов Битрикса – его высокая цена. При этом, эта цена оправдана мощностью системы, но для работы с ней, скорее всего, понадобится специально обученный программист.

Таким образом, 1С-Битрикс подходит для серьёзных проектов (крупных интернет-магазинов или порталов) либо для тех, кому не жалко лишних денег, чтобы получить готовый шаблонный сайт. [3]

4. Drupal (Друпал)

Бесплатная CMS, которая имеет установку только на английском. При необходимости нужно будет разобраться с русификацией.

Работа по созданию сайта достаточно стандартная, так как система имеет немало шаблонов и дополнительных модулей. При этом гибкость модулей позволяет создать более “уникальный” сайт (не по шаблону), поэтому функциональность системы является однозначным плюсом. Drupal не уступает другим CMS и по своей мощности. Все эти преимущества делают систему подходящей для разработки крупных порталов.

Основным минусом является освоение системы. Правда в интернете имеется большое число руководств и форумов, которые помогут в изучении, но иногда придётся пересмотреть много источников, для поиска необходимого решения. Поэтому создание сайта для быстрого заработка вызовет большие трудности. [4]

В заключении, хотелось бы сказать, что такое распределение было составлено на основе моих взглядов и интересов. Существует множество рейтингов, в которых рассматриваются и другие CMS. Поэтому, в статье были рассмотрены наиболее популярные системы, которые могут воплотить мечту о создании своего собственного сайта.

Список литературы

1. <https://ru.wordpress.org/>
2. <https://www.joomla.org/>
3. <http://www.1c-bitrix.ru/>
4. <http://www.drupal.ru/>

Щавелев Леонтий Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nathan23scott@mail.ru.

Борсук Наталья Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: borsuk.65@yandex.ru.

Л.А.Воейкова, Н.А. Борсук

ОБЗОР СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ САЙТОМ BITRIX

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время и коммерческие предприятия, и малый бизнес активно используют Интернет для продвижения торговли. В основном это зависит от красиво и практично составленного сайта компании. Существует множество технологий построения Web-ресурса, в последнее время набирает популярность система управления сайтом 1С Bitrix. С её помощью возможно более быстрое и легкое построение Web-сайтов и дальнейшее их взаимодействие с системой 1С (что сокращает время интеграции информации о продукции). Компания 1С давно зарекомендовала себя на рынке, а еще одна система помогает им «идти в ногу со временем».

«1С-Битрикс» – система CMS, позволяющая создавать сайты, Интернет-магазины или корпоративные порталы любой сложности.

1С-Битрикс помогает в организации единой точки входа на сайт или портал. Система ориентирована на корпоративные сайты, информационные и справочные порталы, социальные сети, Интернет-магазины, сайты СМИ, может удовлетворять потребности госучреждений, здравоохранения и образования.

Ниже приведем общее описание:

- «1С-Битрикс» состоит более чем из 30 различных модулей.
- Система поддерживает возможность интеграции подсистем и ПО (1С: Предприятие, 1С: Бухгалтерия, ActiveDirectory/LDAP, Microsoft Office, OpenOffice) и способна импортировать информацию в таких стандартных форматах как XML, CommerceML, CSV, Excel.
- В систему «1С-Битрикс» встроено дополнительное модуль, называемый «Проактивная защита». С его помощью осуществляется целый ряд защитных мероприятий для сайта и сторонних приложений.
- Все программы 1С-Битрикс в коммерческой версии предоставляются в открытом коде, что является преимуществом и позволяет программисту производить любые доработки и переделки под свои нужды или нужды заказчика сайта.
- В качестве веб-окружения может применяться только свободное программное обеспечение (Linux, Apache, MySQL, PHP)
- 1С-Битрикс считают одной из самых лучших CMS. Она себя в крупных проектах с большими потребностями. Однако, системные требования высоки. [1]

Основные проблемы в 1С-Битрикс проявляются в настройке модулей под конкретный Интернет-магазин. Система в целом может оказаться дешевле, чем надстройка всех модулей. Но оно полностью оправдывает себя.

Сайты, созданные на 1С-Битрикс, имеют множество возможностей и сервисов, включая аналитические и разнообразные модули. Одно из главных преимуществ системы – простая и полноценная интеграция с 1С «Предприятие» и «Бухгалтерия». Это позволяет производить обмен информацией с базой данных в 1С.

Система имеет хорошую защиту от хакерских атак. В 1С-Битрикс имеется возможность настраивать индивидуальную систему скидок при использовании ее для разработки Интернет-магазинов и программу лояльности клиентов. Так же можно пользоваться функциями ставок НДС для юридических лиц – клиентов и формировать разные цены для разных дилеров. Это просто необходимо, если работать с оптовыми продажами.

Система 1С-Битрикс хранит историю заказов, сделанных ранее, которые впоследствии можно и отменить, и отредактировать. В системе так же можно настроить привилегии пользователей и разграничить сферу деятельности менеджеров, это достаточно эффективно при условии, что за каждым клиентом должен быть закреплен менеджер, контролирующий заказы.

1С-Битрикс в состоянии помочь связать несколько Интернет-магазинов для облегчения создания функции лояльности и создания одного аккаунта для клиента на нескольких Web-сайтах. С помощью CMS можно также настраивать сложную реферальную сеть.

1С-Битрикс— считается профессиональным инструментом, сильно нагружающим сервер, что затрудняет его реализацию на виртуальном (shared) хостинге, и создает ограничение по хранимым данным. При большой его популярности, количество посещений сайта возрастает, с чем виртуальному хостингу сложно справиться.

Выделенный сервер даёт возможность создания ограниченных ресурсов сайта, а также требует трудоемкой настройки и «подгонки» конфигурации под специфику продуктов компании 1С. Арендовать сервер или использовать собственный сервер, размещенный на площадке хостинг-провайдера обходится гораздо дороже, чем при работе с виртуальным хостингом.

Среди коммерческих CMS Bitrix не имеет конкурентов по популярности на российском рынке. Все CMS имеют свои плюсы и минусы, поэтому для принятия правильного решения необходимо взвесить разные «за» и «против» этой системы. [2]

Плюсы 1С-Битрикс:

1. Легкость в работе. Любой пользователь без труда сможет организовать всю структуру в нужном порядке, загрузить данные, а также внедрить все необходимые функции.

2. Безопасность. Одно из главных преимуществ Битрикса – постоянное обновление системы безопасности. 1С с завидной постоянностью обновляет свои уровни защиты, причем скачать обновление можно бесплатно, тем самым повышая уровень защиты и этой CMS.

Безопасность – неотъемлемая часть сайта, 1С-Битрикс обеспечивает её на самом высоком уровне.

3. Информационность. В пакете с базовым установщиком 1С-Битрикс заложено большое количество справочного материала, большинство часто задаваемых вопросов освещены там же. Из-за роста популярности программы в Интернете можно найти достаточно полезной информации.

4. Техническая поддержка. Саппорт компании 1С зарекомендовал себя только с положительной стороны и на высоком уровне. Туда может обратиться абсолютно любой пользователь совершенно бесплатно в первый год эксплуатации лицензионной версии. Группа технической поддержки быстро и точно отвечает на все вопросы.

5. Поддержка баз данных. Система 1С-Битрикс включает в себя возможность интеграции информации из других продуктов компании, таких как 1С-Предприятие или 1С-Бухгалтерия, что незаменимо для коммерческих компаний.

В качестве минуса стоит отметить слишком высокие требования к хостингу. При использовании 1С-Битрикс система выставляет высокие требования, поэтому простые и дешевые тарифы по использованию серверов не потянут нагрузку. [3]

С помощью системы 1С-Битрикс появляется возможность создавать Интернет-ресурсы различной сложности, с разными уровнями привилегированности пользователей в них и различной информативной нагрузки. Достоинств у данной системы гораздо больше, чем недостатков. Следовательно, на данный момент, 1С-Битрикс – одна из лучших систем, используемых программистами для создания сайтов.

Литература:

1. Брэт Маклафлин, автор и редактор, O'Reilly Media Inc, Обзор системы управления сайтом CMS 1С Битрикс URL: <http://emagnat.ru/bitrix.html#ixzz3pgtMdCAU> (дата обращения 21.10.2015).

2. © Mywebblog.ru - интернет технологии, советы, секреты, заработок в сети интернет и многое другое URL: <http://mywebblog.ru/> (дата обращения 26.02.2015).

3. Общий обзор по продуктам 1С: Битрикс URL: <http://osnova.ru/obshhij-obzor-po-produktam-1s-bitriks/> (дата обращения 26.10.2015).

Воейкова Людмила Алексеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: lussia94@yandex.ru.

Борсук Наталья Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: borsuk.65@yandex.ru.

Н.К. Погорелов, А.М. Донецков

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГРАММ НА ЯЗЫКЕ АССЕМБЛЕРА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В разработке программного обеспечения одну из важнейших ролей неизменно играет оптимизация программного кода с целью повышения эффективности и скорости его исполнения. Скорость работы бывает особенно критична при написании программ для устройств, работающих в реальном времени, таких, как микроконтроллеры. В таких случаях нередко прибегают к использованию языка ассемблера, который позволяет создавать самый быстрый код, который возможен для данного процессора. Тем не менее, неумелое использование этого языка приведёт к тому, что получившийся код будет работать даже медленнее, чем код, генерируемый компиляторами языков высокого уровня. Избежать этого поможет использование некоторых тонкостей, которые сделают программу быстрой и эффективной. Их можно условно разделить на несколько групп:

- Первое, и наиболее очевидное, — исключение из кода программы частей, которые не несут практической и смысловой нагрузки, то есть выполняют ненужные действия;

- Усовершенствование алгоритмов выполнения поставленной задачи или её элементов (к примеру, в случае сортировки данных, использовать не пузырьковую сортировку, а сортировку слиянием);

- Часто может оказаться эффективным простое сокращение объёмов используемой памяти; если число, хранящееся в переменной, занимает существенно меньше того, сколько эта переменная позволяет вместить, целесообразнее использовать переменную меньшего размера;

- Грамотная организация циклов и переходов в программе также экономит время. Условие перехода должно оказываться ложным значительно чаще, чем истинным, а действия, которые возможно вынести за пределы цикла, лучше выполнять вне цикла.

- Использование специфических особенностей языка ассемблера и отказ от универсальности. На этой группе и остановимся подробнее.

Использование тонкостей языка ассемблера требует понимания некоторых особенностей архитектуры процессоров x86 и двоичной арифметики. Часто их использование предполагает некоторый отказ от универсальности и написания кода в соответствии с конкретной ситуацией, но с точки зрения быстродействия программы это бывает оправданно. Упомянем несколько таких способов оптимизации кода ассемблера:

- При умножении или делении чисел, являющихся степенями двойки, эффективнее использовать не операторы `mul` и `div`, а просто сдвинуть число влево или вправо соответственно на необходимое число битов. Это

даёт значительную экономию времени, так как операции сдвига выполняются значительно быстрее, чем умножения.

- Можно распространить этот метод на более широкий класс чисел. Например, чтобы умножить произвольное число из регистра АХ на 10, достаточно сдвинуть его на два разряда влево, сложить результат с первоначальным значением и получившееся число снова сдвинуть влево.

- Можно экономить на том, что некоторые команды можно заменить на другие, которые занимают в памяти меньше места. Так, вместо присваивания регистру значения 0 (обнуление регистра) эффективнее использовать сложение по модулю 2 (xor) этого регистра с самим собой.

- Также даст прирост эффективности отказ, по мере возможности, от обращения к дисковой памяти и максимальное использование регистров процессора.

Таким образом, существует множество способов повышения эффективности программ на языке ассемблера; мы рассмотрели лишь некоторые из них. Несмотря на многие сложности, с которыми, как мы убедились, сопряжён процесс оптимизации программ, приносимая таким образом польза оправдывает затраты времени и труда.

Использованная литература

- Р. З. Абзялов. Программирование на ассемблере на платформе x86. - М.: «ДМК Пресс», 2011 г. — 304 с.

- О. Калашников. Ассемблер — это просто. Учимся программировать. - Спб.: «БХВ-Петербург», 2011 г. — 336 с.

Погорелов Николай Константинович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: pogorelov-nk@yandex.ru.

Донецков Анатолий Михайлович –ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dam@kaluga.ru.

И.В. Чухраев, В.И. Жукова

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение. В настоящее время деятельность каждого предприятия связана с большим количеством информации. Базы данных позволяют осуществить хранение необходимой конкретному предприятию информации в формате массивов, исключая их избыточность и облегчая работу персонала.

База данных - это совокупность логически взаимосвязанных файлов данных специального формата, содержащие информацию, структурированную определенным образом, и отражающую реалии действительности в той или иной предметной области [1].

Управление базами данных осуществляется при помощи системы управления базами данных (СУБД), представляющей собой программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий пользователям не только простой доступ к базам данных, но и позволяющий их создавать, удалять, менять, обеспечивать безопасность и т.д. В общем случае СУБД, выступает в качестве посредника между базой данных и пользователем.

Постановка задачи. Поскольку все разделы информации на предприятиях взаимосвязаны, разрабатываемая база данных должна быть реляционной, т.е. основанной на логической модели взаимоотношений между объектами [2,3].

Реляционные СУБД используются на предприятиях для решения следующих задач:

1. Упрощение процесса ведения учета бухгалтерии.
2. Ускорение поиска информации.
3. Автоматизация выполнения отчетов.
4. Предоставление услуг посредством сети интернет.
5. Моделирование данных, вывод данных в удобном для пользователя формате.

Предприятия устанавливают ряд требований к СУБД: надежность, эффективность, возможность свободной интеграции между таблицами, наличие хранимых последовательностей, функций и процедур.

Целью данной работы является построение алгоритма разработки баз данных, отвечающих указанным требованиям.

Основная часть. Логическую структуру базы данных можно представить с помощью следующей математической модели:

$$\begin{aligned} & \{D, Cr(D)\}, \\ & \{R, Cr(R)\}, \\ & \{A, Ru(A)\}, \end{aligned}$$

где D – конечное множество элементов, представляющее собой носитель структуры, зависящий от конкретной предметной области; R – конечный набор отношений, описывающий связи элементов из D в виде множества упорядоченных пар; A – ограничительные условия, которые накладываются на отношения, т.е. условия корректности, целостности и правильности данных; $Cr(D)$ – критерий принадлежности элемента d множеству D ; $Cr(R)$

– критерий принадлежности элемента r множеству R ; $Ru(A)$ – правила вывода формул из аксиом и их преобразование [1].

В базе данных присутствуют моделенезависимые понятия. К ним относят понятие записи, схемы записи, поля записи, ключи. Запись – минимальная единица хранения данных в базе данных, имеющая уникальный идентификатор. Схема записи представляет собой совокупность полей записи и описывает структуру записи при помощи языка описания данных, который используется в конкретной базе данных. В каждом поле записи содержатся элементы данных, одно из полей будет являться ключом, что необходимо для уникальной идентификации записи [1,3].

Таким образом, база данных будет представлять собой совокупность массивов элементов, удовлетворяющих перечисленным условиям и представленных в виде взаимосвязанных таблиц. Например, массив элементов «Заявка на закупку» будет связан с массивом «Перечень», причем на взаимосвязь наложено условие, что одной заявке соответствует только один перечень элементов закупаемой продукции (такой вид связи называется «один к одному»). Каждый массив содержит записи и поля, в качестве ключа выступает поле «номер заявки». Связь этих таблиц изображена на рисунке 1, где РК – обозначение первичного ключа (англ. primary key), который представляет собой уникальный идентификатор поля и служит для осуществления связи между таблицами.

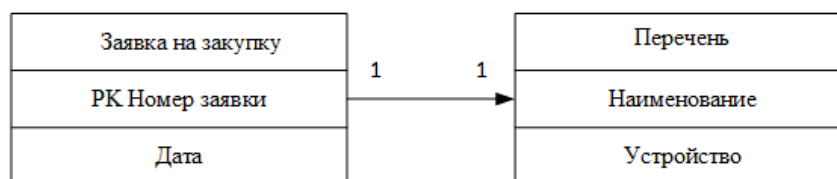


Рисунок 4. Пример отражения связи таблиц

На схемах моделей стрелкой показывают отношения между элементами. Над стрелкой указывают тип связи с помощью следующих обозначений: возле элемента пишут символ 1, если элемент относится к разряду «один», и знак ∞ , если элемент относится к разряду «многие».

В базах данных существует несколько разновидностей связей между элементами:

- Связь «Один к одному» означает, что одному элементу d_1 (на рисунке 1 это таблица «Заявка на закупку» с цифрой возле нее 1 над стрелкой) соответствует один элемент d_2 (на рисунке 1 это таблица «Перечень» с цифрой 1 возле нее над стрелкой).

- Связь «Один ко многим» отражает соответствие между одним элементом d_1 и несколькими элементами d_2 , но элементам d_2 соответствует только один элемент d_1 . Например, одному элементу «Заказ» (d_1) могут соответствовать несколько элементов «Поставщик» (d_2). На схемах моделей такой вид связи обозначается стрелкой, над которой возле элемента d_1 изображена цифра 1, символизирующая разряд «один», а возле элемента d_2 знак ∞ , который символизирует разряд «многие». Для остальных видов связей обозначение аналогично, где «одному» соответствует 1, а «многим» ∞ .

- Вид связи «Многие к одному» отображают связь между несколькими элементами d_1 , которым будет соответствовать только один элемент из d_2 .

- Связь «Многие ко многим» означает, что несколько элементов из d_1 связаны с несколькими элементами из d_2 . Этот вид связи практически не используется [1,3].

В базах данных для предприятий преобладает вид связи «Один к одному», так как в основном каждой таблице, содержащей определенный раздел информации, соответствует только одна таблица, в которой отражены данные, взаимосвязанные с этим разделом информации.

Автоматизация выполнения отчетов производится за два этапа: поиск и фильтрация документов, затем вывод информации из системы.

Фильтрация документов осуществляется за счет функций сортировки массивов элементов стандартными алгоритмами, например, упорядочение по датам закупок. Выбор способа упорядочения записей и поиск по заданному условию (по ключу) зависит от количества сравнений пар ключей, числа перестановок элементов и резервов памяти. Существует два вида сортировки: внутренняя и внешняя. При внутренней сортировке таблица целиком помещается в оперативную память. Для внешней сортировки необходимо использования внешнего запоминающего устройства, этот способ не применяется в базах данных предприятий.

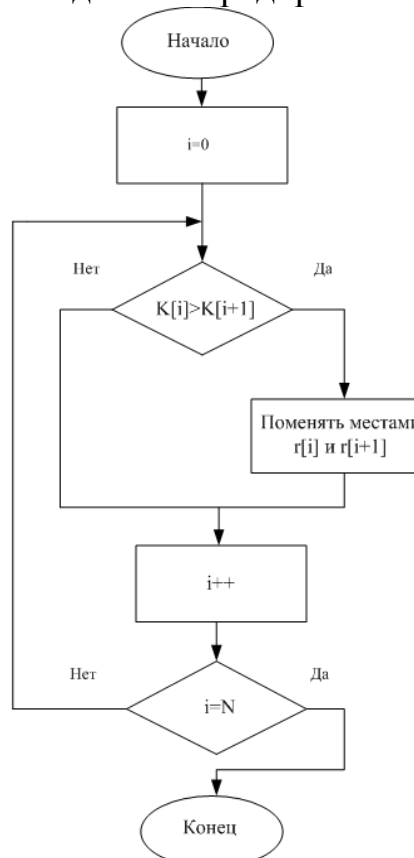


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма сортировки «пузырьком»

Внутренние способы сортировки разделяют на два вида: способы, требующие резерва и не требующие. К первой группе относят квадратичную выборку и слияние, ко второй – сортировку выбором, «пузырьком», метод вставки и Шелла. Наиболее популярным алгоритмом является сортировка «пузырьком», что обусловлено простотой реализации и эффективностью. Блок-схема алгоритма изображена на рисунке 2: N – количество записей, $K[i]$, $K[i+1]$ – ключи записей, которые сравниваются, $r[i]$, $r[i+1]$ –

записи. Таким образом, в конце сортировки записи, ключи которых имеют наибольшее значение, окажутся внизу таблицы [4].

Вывод информации может осуществляться в виде таблиц на экране, файлов в виде отредактированного текста и электронных таблиц, которые затем выводятся на печать.

Таким образом, алгоритм разработки баз данных для промышленных предприятий может быть представлен в виде блок-схемы, приведенной на рисунке 3. В изучение предметной области входит ознакомление с бизнес-процессами, информация о которых должна быть отражена в базе данных. На этапе составления логической структуры базы данных определяется количество элементов, связи между ними, информационные поля и ключи. При выборе алгоритма упорядочения записей необходимо учитывать их количество, при этом самым простым и эффективным является сортировка «Пузырьком». При выборе способов вывода информации нужно определить, в какой форме составляются отчеты: электронные или распечатанные текстовые документы и таблицы. Выбор платформы и языка программирования производится с учетом обеспечения совместимости с другими программными продуктами системы.

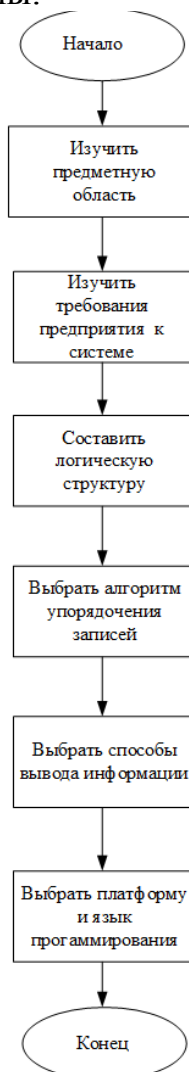


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма разработки баз данных для промышленных предприятий

Заключение. Представленный алгоритм разработки баз данных учитывает основные требования, предъявляемые промышленными предприятиями к системам управления базами данных, и обеспечивает возможность учета при разработке специфики каждого из них.

Список литературы

1. Марков А.С., Лисовский К.Ю. *Базы данных. Введение в теорию и методологию*, Москва, Изд-во Финансы и статистика, 2006, 512 с.
2. Бейли Л. *Изучаем SQL*, Санкт-Петербург, Изд-во Питер, 2012, 637 с.
3. Зрюмов Е.А., Зрюмова А.Г. *Базы данных для инженеров*, Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2010, 131 с.
4. Кириллов В.В. *Основы проектирования реляционных баз данных*
URL: <http://www.emanual.ru/get/512/> (дата обращения 28.10.2015).

Чухраев Игорь Владимирович — канд. техн. наук, заведующий кафедрой "Компьютерные системы и сети" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: igor.chukhraev@mail.ru.

Жукова Ирина Владиславовна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zhuckizhuk@gmail.com.

А.В. Родионов, А.И. Леченкова

ОЦЕНКА РЕЛЕВАНТНОСТИ ВЕБ-СТРАНИЦ В ПОИСКОВЫХ СЕРВИСАХ.

КФМГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В связи с интенсивным развитием интернета и постоянным ростом числа интернет-страниц появилась необходимость в использовании новых алгоритмов поиска информации. Алгоритм действия любого поискового запроса своим итогом должен предоставлять пользователю поискового сервиса ссылки на интернет-страницы, контекст которых наиболее соответствует запросу.

Когда страниц в сети internet насчитывалось сравнительно малое количество, поисковые сервисы попросту считывали каждую доступную страницу сайта, оценивая её содержимое по отношению к поисковому запросу. Самым простым методом оценки служило количество слов, сформулированных в запросе, чем больше сочетаний встречалось, тем большей информацией по запросу обладала страница. Тем не менее, при использовании такого алгоритма высока вероятность выдачи страниц с ложным наполнением.

Степень соответствия (релевантности) страницы сайта в отношении запроса будет определять позицию сайта в результатах поиска, зависит двух групп факторов - внешних и внутренних. К группе внутренних факторов ранжирования (процесса обработки результатов поиска по запросу) относятся динамические параметры, зависящие от содержимого, html-кода интернет-страниц. В следствие изменчивости внутренних факторов стало необходимо производить оптимизацию алгоритмов ранжирования документов, релевантность которых оказалась одинаковой, а также исключать из результатов поиска результаты, средний уровень достоверности и информативности которых ниже приемлемого для пользователей.

Развитие алгоритмов ранжирования привело к появлению дополнительных факторов, учитывающих оценку информативной наполненности ресурсов. Таким образом возникла группа внешних факторов оценки релевантности веб-страниц, которые в свою очередь возможно условно разделить на статистические (не зависящие от текст поискового запроса) и динамические (зависящие от текста запроса). Кроме того, поисковые системы учитывают поведенческие факторы, которые помогают оценить правильность определения релевантности путем оценки реакции пользователей на результаты поиска.

В Российском сегменте интернета доминируют две поисковые системы - Яндекс и Google, каждая из которых использует свою форму и параметры определения релевантности страниц. Яндекс использует формулу

ранжирования, основанную на системе машинного обучения под названием MatrixNet. В MatrixNet построением формулы релевантности занимается алгоритм, входными параметрами которого являются оценки, сделанные специальными людьми (ассессорами Яндекса).

Ассессоры выносят оценки определенному количеству сайтов по заданному количеству поисковых запросов - таким образом осуществляется обучение алгоритма, который подробно изучает помеченные ассессорами хорошие и плохие сайты, выделяет факторы, по которым можно их ранжировать. [1]

При определении релевантности в Яндексе учитывается более 400 факторов ранжирования. Причем, эти факторы могут учитываться как отдельно, так и в качестве мономов (произведение нескольких факторов). Следовательно, если один из факторов в мономе будет нулевой, то он может свести на нет и влияние других, не нулевых факторов.

Что примечательно, в Яндексе используются отдельные формулы для полутора десятков крупных городов России, отдельные формулы для стран СНГ (Белоруссия, Казахстан и Украина) и Турции. Алгоритм, используемый в Яндексе для ранжирования сайтов, работает в автоматическом режиме, однако иногда используются и полуавтоматические и ручные действия, направленные на корректировку поисковой выдачи в сторону повышения ее релевантности.

Информации по типу используемой формулы релевантности в Google гораздо меньше, чем в Яндексе. Не заявлено, какая именно формула используется в Гугле - ручная или самообучающийся автоматический алгоритм на вроде MatrixNet, однако существует мнение, что Google все же использует ручную формулу ранжирования, аргументируя это тем, что результаты выдачи автоматической формулы иногда могут быть непредсказуемыми (характерное отличие Яндекса). [2]

По некоторым отрывочным сведениям можно сделать вывод, что поиск Google так же использует большое количество факторов ранжирования, но тем не менее несколько меньшее, чем Яндекс. Google опирается на пару сотен факторов, также поисковик имеет отдельные формулы релевантности для разных стран. Внутри же стран разбиения по регионам (как в Яндексе) отсутствует. По крайней мере это можно с точностью сказать применительно к «ru»-сегменту интернета.

Одним из важных внешних статистических факторов оценки являются показатели авторитетности сайта, которые учитывают отсылки на сайт со сторонних интернет-ресурсов. Различные поисковые системы используют разные показатели, определяющие авторитетность сайта, так для поисковой системы Яндекс используется показатель тематического цитирования. Данный показатель определяет релевантность сайта в собственном каталоге Яндекса и не влияет напрямую на позиции сайтов в выдаче по поисковым запросам пользователей. Величина индекса рассчитывается относи-

тельно и зависит от количества и тематики ссылающихся на страницу внешних ресурсов как сумма весов всех поставленных на сайт ссылок, учтенных поисковиком. Наряду с количественным показателем применяется и качественный показатель — значимость, или «вес» ссылки. Показатель рассчитывается по специально разработанному поисковой системой Яндекс алгоритму. Большое значение в нем уделяется показателю тематической близости - величине, насколько сходна тематика сайта, для которого рассчитывается показатель тематического цитирования, с тематикой ссылающихся на него ресурсов. Таким образом, данный индекс предназначен для того, чтобы помочь пользователю ориентироваться в авторитетности ресурсов сходной тематики в рубриках каталога Яндекса за счет их правильного ранжирования.

Показатель тематического цитирования пересчитывается поисковой системой Яндекс один раз в неделю. В том случае, если за неделю произошли какие-либо изменения в весе ссылок, ссылающихся на сайт, изменяется и его индекс цитирования. [2]

В поисковом сервисе Google последовательность оценки релевантности страницы сайта включает в себя несколько этапов: сначала проводится ранжирование сайтов в зависимости от внутренних факторов (ключевые слова, HTML-код), затем учитывается тематика (текст) внешних ссылок на страницы сайта, и только потом полученные результаты корректируются данными PageRank.

К динамических внешним факторам относится принцип ссылочного ранжирования. В отличие от определения показателя цитируемости, для увеличения которого достаточно поместить множество простых ссылок на ресурс с других сайтов, принцип ссылочного ранжирования основан на учете исключительно текстовых ссылок. Принцип ссылочного ранжирования вступает в действие тогда, когда на одном сайте появляется текстовая ссылка на страницу другого сайта. Данная ссылка индексируется поисковой системой и начинает влиять на релевантность страницы по тому запросу, который включен в ссылку. Причем, влияние сторонней ссылки с ключевым словом на релевантность страницы гораздо весомее, нежели влияние повтора того же ключевого слова в тексте страницы. [3]

В основе контента страницы всегда заложен текст. Именно текст является основополагающим фактором для определения релевантности. Любой текст состоит из символов (букв, знаков цифр и т.д.), Поисковики обрабатывают текст страниц, собирая символы в слова, чаще всего понимая, что значит то или иное отдельное слово. С помощью слов-синонимов, морфологических форм и речевых оборотов определяют более точное значение многозначных слов. На основе частоты использования слов в тексте формируют общее представление о смысловой нагрузке контента в целом и каждого отдельного абзаца в частности. Так формируется релевантность на первом этапе обработки алгоритма.

Целевым указанием роботу на принадлежность того или иного контента ключевому слову являются специальные указатели, которые помогают алгоритмам сформировать более целостное представление о степени совпадении слов и смысла, однако алгоритмы поисковых роботов, предназначенные для анализа изображения, далеки от совершенства. [4]

Ведущие поисковые системы имеют собственные внутренние ресурсы, призванные повысить качество поиска - поисковые каталоги. Так каждый Web-сайт, занесенный в каталог поисковой системы Яндекс, получает специальный коэффициент, с помощью которого и вносятся коррективы в выдачу поисковых результатов. В свою очередь, регистрация в каталоге Google влияет на ранжирование результатов поиска в меньшей степени, нежели участие в собственных каталогах других поисковых машин. Совокупность множества факторов, оказывающих прямое и косвенное влияние на выдачу результатов в поисковых системах, не позволяет однозначно определять ценность каждого из них, что ведет к необходимости автоматизации процесса оптимизации web-ресурсов на базе математических моделей и алгоритмов.

Список литературы

[1] Руководство по оптимизации контента web-ресурсов от корпорации Google www.googlewebmastercentral.blogspot.ru/2013/03/

[2] Руководство по оптимизации web-страниц от компании Яндекс www.yandex.ru/support/webmaster/recommendations/

[3] Руководство для web-разработчиков от корпорации Google www.groups.google.com/Google_Webmaster_Help

[4] Индексация популярных ресурсов в поисковой системе rambler www.top100.rambler.ru

Родионов Андрей Викторович— канд. техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andviro@gmail.com.

Леченкова Александра Игоревна— студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: al.derrorli@gmail.com.

Ю.Н. Лавренков, Л.Г. Комарцова

ПРИМЕНЕНИЕ КАСКАДНО-КОРРЕЛЯЦИОННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ЭКСПЕРТОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Качество решения сложных вычислительных задач можно повысить за счёт применения ансамблей нейронных сетей. Одним из нейросетевых экспертов в составе комитета может быть нейросетевая архитектура, обладающая возможностью модификации внутреннего строения без потери стабильности функционирования. В качестве такой информационной структуры часто применяется каскадно-корреляционная нейронная сеть (ККНС). Выбор обусловлен следующими особенностями данной архитектуры [1]: не требуется предварительного задания конфигурации сети и количества нейронов в каскадах, способность к адаптивному расширению по мере необходимости увеличения вычислительных возможностей, сокращение времени обучения, т.к. не применяется алгоритм обратного распространения ошибок. Формирование топологии сети производится последовательно для каждого каскада, что позволяет сократить вычислительные затраты. Обучение ККНС осуществлялось с создания минимальной сети, включающей входной и выходной слой, в которой отсутствуют скрытые нейроны. Выходные сигналы применяются для участия в формировании финального решения нейросетевого комитета. Преимущество применения данного класса сетей заключается в отсутствии необходимости точного формирования количества скрытых нейронов [2]. Функция активации, применяемая в сетях данного типа, является нелинейной. В данной работе была выбрана модифицированная экспоненциальная функция, значения которой могут лежать в интервале от 0 до 1. Необходимо построить алгоритм обучения так, чтобы метод настройки производил адаптацию сети без введения нейронов в состояние насыщения. Для решения этой проблемы входные сигналы подвергаются процедуре нормализации. Следующая проблема обучения данного класса сетей заключается в начальной настройке переменных параметров и оценки степени их влияния на процедуру сходимости к желаемому состоянию. Из-за особенности сетей данного класса алгоритм обучения должен быть направлен на решение двух проблем: максимизировать функцию корреляции нового нейрона – кандидата на включение в нейронную сеть и минимизировать функцию ошибки сети. Градиентные методы обучения в этом случае могут быть неэффективными, т.к. приходится выполнять поиск на сложной поверхности, образуемой пространством весовых коэффициентов нейронной сети. Поэтому эффективная начальная настройка переменных параметров позволит повысить эффективность алгоритма обучения. После анализа существующих методов начальной инициализации был выбран способ определения па-

раметров случайными числами, производимыми с помощью обратимого конгруэнтного генератора. После определения начального состояния сети процедура обучения выполняется с помощью методов параметрического программирования, адаптированных для применения в аппаратной реализации каскадно-корреляционной нейронной сети. Выбор данного метода обусловлен необходимостью настройки нейросетевого эксперта к учёту неопределённости исходных данных [3]. Числовые значения, поступающие на вход сети и содержащие параметры решаемой задачи, могут быть определены приближённо, в зависимости от внутреннего состояния исследуемой системы в разные моменты времени. Анализ изменения поведения и стабильности функционирования нейросетевого эксперта при вариации исходных данных требует применения методов обучения, учитывающих неопределённость задания обучающего множества. Параметры задачи способны изменяться во времени, поэтому исходные данные для обучения предполагаются не постоянными величинами, а значениями некоторых функций, зависящими от анализируемых свойств системы. Применяемый метод в совокупности с алгоритмом начальной настройки позволяет адаптировать каскадно-корреляционную сеть к работе в составе комитета экспертов.

Процедура обучения ККНС предполагает наращивание вычислительной мощности нейронной сети путём добавления скрытых нейронов. Перед процедурой добавления нейрона необходимо создать некоторое множество нейронов-кандидатов, сформированных случайным образом. Инициализация алгоритма настройки нейронной сети из множества состояний повышает вероятность нахождения оптимальной структуры нейросетевого эксперта. В данной работе производилась генерация совокупности из 300 нейронов-кандидатов. В состав сети вводился нейрон с максимальным параметром корреляции, и выполнялась процедура обучения. Случайная генерация нейронов-кандидатов не требует больших вычислительных затрат, а множество возможных начальных точек старта алгоритма обучения повышает вероятность найти оптимальное состояние сети за приемлемое время работы.

При выполнении настройки нейронной сети целью является получить быстродействующую структуру с заданными свойствами, т.е. ККНС должна правильно реагировать на примеры, которые предъявлялись при выполнении обучения. В процессе обучения нейросетевого эксперта необходимо обеспечить качественное восприятие новых данных без повреждения внутренней памяти НС. Для получения хорошей способности к обобщению необходимо вовремя остановить процесс обучения. Критерием остановки является наступление стадии переобучения, которую можно определить с помощью перекрестной проверки.

Применение случайных составляющих в процессе формирования внутренней структуры нейронной сети оправдывает применение сложных стратегий формирования финального нейросетевого эксперта. В данной работе применяется метод усреднения по ансамблю, который заключается

в параллельном развитии нескольких потенциальных архитектур каскадно-корреляционных нейронных сетей. Различие в алгоритмах инициализации состояния сети, способе отбора нейронов-кандидатов, элементах алгоритма обучения позволяет выбрать ККНС, которая показала лучшие аппроксимирующие способности. Если система обладает необходимыми вычислительными возможностями, то в качестве выходного сигнала ККНС можно использовать усредненную сумму выходных сигналов от потенциальных сетей-кандидатов [4]. Данный метод позволит сохранить альтернативные результаты для дальнейшего развития системы.

Для повышения производительности и возможности принимать решения в реальном масштабе времени, составные структуры сети были модифицированы для реализации на ПЛИС Altera EP3C10E144C8N. Изменения касались адаптации внутренних структур нейронов для компактной реализации на выбранном вычислительном элементе. Нейронные модули, реализующие необходимый функционал для реализации ККНС, в составе своей структуры содержат реконфигурируемые и стационарные модули (рис. 1).

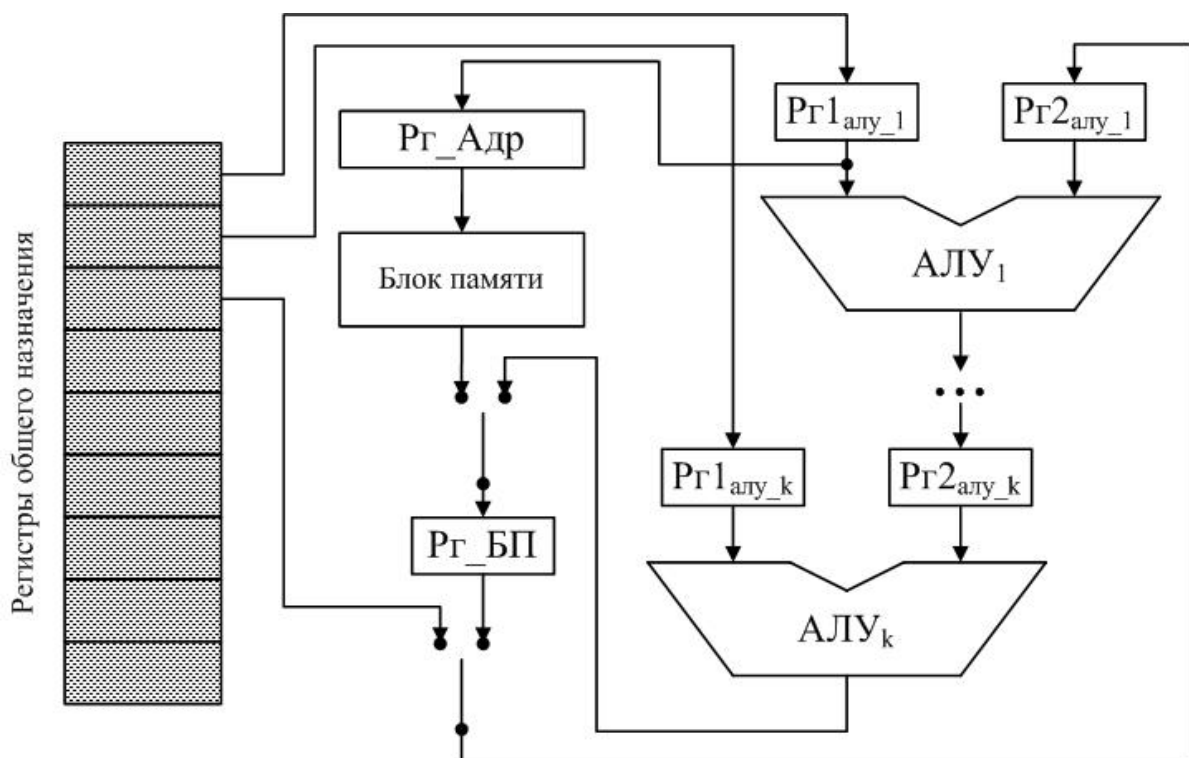


Рис. 1. Реконфигурируемая вычислительная структура

Возможность изменения конфигурации в процессе эксплуатации позволяет конструировать устройства с возможностью распределённой обработки данных, имеющих размерность, оптимальную для текущей задачи. Стационарные модули (СМ) позволяют организовать систему управления всеми вычислительными ресурсами проектируемой системы. Внутренняя архитектура СМ состоит из модуля памяти и группы регистров, обеспечивающих доступ к памяти. Базовой единицей для построения реконфигури-

руемых модулей являются арифметико-логические устройства (АЛУ). Количество АЛУ, применяемых в каждом модуле, может быть различным и определяется условиями задачи. В данной работе каждый нейрон, который добавлялся в каскадно-корреляционную нейронную сеть, может изменять свою вычислительную мощность путем увеличения количества используемых АЛУ. Все сигналы, поступающие на АЛУ, не из внутренних структур нейрона умножаются на весовые коэффициенты. Эти переменные параметры позволяют выполнять настройку сети даже при фиксированной архитектуре [5]. Процедура обучения выполняет настройку не только весовых коэффициентов, но и адаптацию внутренних структур каждого нейрона в различных каскадах, путем определения оптимального количества АЛУ и их функциональных назначений. Особенностью данного подхода к построению нейронных сетей является то, что нейронные элементы в различных каскадах могут иметь различную архитектуру.

Таким образом, алгоритм обучения приобретает способность выполнять адаптивное формирование вычислительных способностей отдельных типов нейронов, что особенно важно при аппаратной реализации на ПЛИС. Выходной сигнал спроектированной нейронной сети показан на рис. 2.

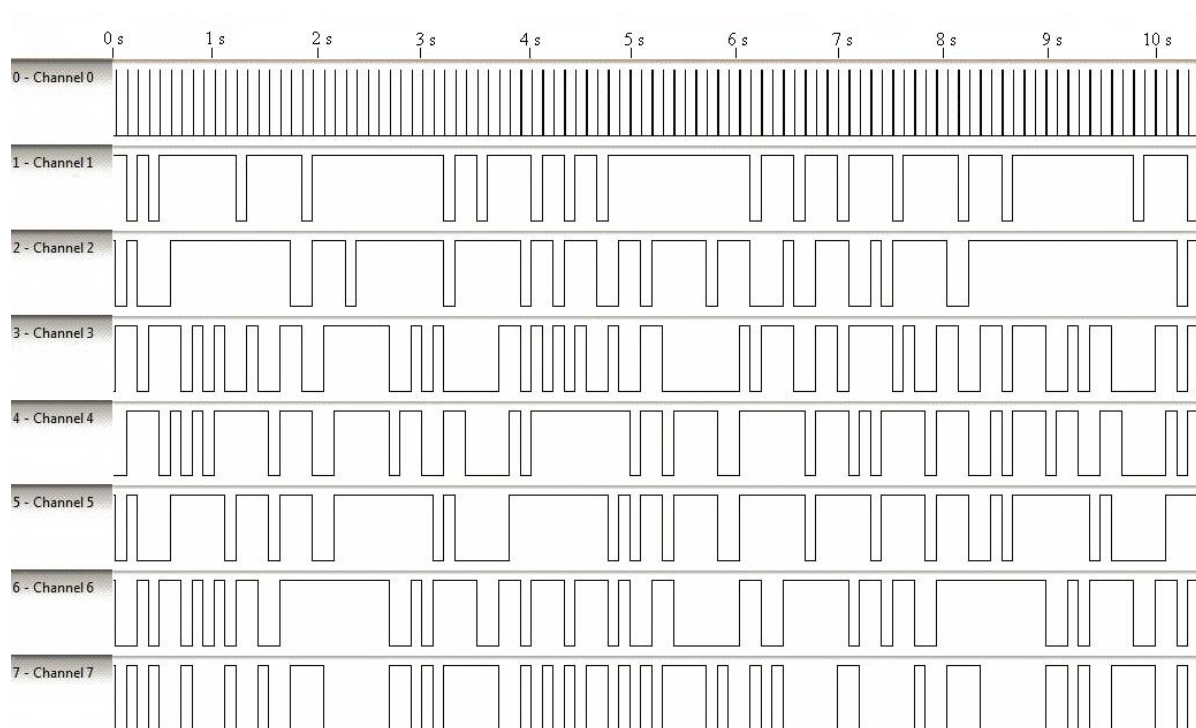


Рис. 2. Структура выходного сигнала нейронного модуля

Ядром алгоритма обучения являлся метод гомеостатического поиска. Просчёт переменных параметров, формирование альтернативных вариантов нейросетевого эксперта, а также контроль качества обучения осуществлял микроконтроллер PIC18F4550, который являлся составной частью разработанного аппаратного нейросетевого комплекса. В результате, был получен

нейросетевой эксперт, способный расширять свои функциональные возможности в зависимости от сложности задачи. Добавление ККНС к общему составу комитета нейронных сетей позволит получить ассоциативную машину с возможностью адаптивной перестройки вычислительных возможностей.

Заключение. Применение нейросетевого эксперта, обладающего способностью к увеличению сложности внутренней архитектуры без потери стабильности функционирования, позволит повысить адаптивные способности нейронных сетей к изменяющимся во времени параметрам решаемой задачи. Применение каскадно-корреляционной нейронной сети реализует возможность роста нейросетевого эксперта. Процедура обучения заключается в настройке только добавляемых нейроэлементов, что позволяет повысить скорость функционирования всей системы в целом. Также следует учесть, что каскадно-корреляционная сеть является нейросетевым экспертом, в которого проще всего ввести дополнительные нейронные элементы. Для повышения эффективности процедуры расширения топологии сети в данной работе применялся метод усреднения по ансамблю, позволяющий осуществить развитие нескольких потенциальных архитектур каскадно-корреляционных сетей. Различия в начальных состояниях, из которых производится процедура обучения нейронной сети, позволяет генерировать несколько потенциально-возможных архитектур. Результирующий выходной сигнал формируется как усредненная сумма выходных сигналов от потенциальных сетей-кандидатов. Произведённая модификация позволила повысить качество решений, принимаемых рассмотренным нейросетевым экспертом.

Список литературы

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.: ил.
2. Барский А.Б. Логические нейронные сети: учеб. пособие / А.Б. Барский. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 352 с.
3. Васильев А.Н., Тархов Д.А. Принципы и техника нейросетевого моделирования. – СПб.: Нестор-История, 2014. – 218 с.
4. Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 400 с.: ил. – (Информатика в техническом университете.).
5. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Кн. 4. Учеб. пособие для вузов / Общая ред. А.И. Галушкина. — М.: ИПРЖР, 2001. – 256 с.

Лавренко Юрий Николаевич— канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: georglawr@yandex.ru.

Комарцова Людмила Георгиевна— д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: georglawr@yandex.ru.

И.А. Крысин

РАЗРАБОТКА ИНТЕРНЕТ СЕРВИСА ПО СОЗДАНИЮ ЭЛЕКТРОННОГО БИБЛИОТЕЧНОГО ТИФЛОТЕХНИЧЕСКОГО КАТАЛОГА ДЛЯ БИБЛИОТЕК

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Природа наделила человека способностью многоканального восприятия информации об окружающем мире. Совершенно очевидно, что ни одна сфера деятельности человека 87 немыслима без его информационного взаимодействия с другими людьми и с окружающей его средой, что, естественно, предполагает прием информации через органы чувств, обработку информации в коре головного мозга и выдачу (или передачу) принятого решения в виде определенных реакций или действий[1].

Статистика распределения объемов информации по каналам поступления, полученная в результате научных исследований и экспериментов, показывает, что более 90 % всей информации человек получает по зрительному каналу поэтому трудно представить, в какое положение попадает человек, лишенный зрения. Слепой и слабовидящий человек ограничен в выборе источника информации. Обычные печатные документы большинство из них не может читать самостоятельно, как это делают люди с нормальным зрением.

Глобальная информатизация общества, растущая доступность Интернета, появление новых технологических разработок в сфере коммуникаций сделали возможным внедрение в библиотечную деятельность современных технических средств, упростив тем самым доступ пользователей к нужной им информации и качественно изменив уровень библиотечного обслуживания, как в массовых, так и в специализированных библиотеках. Программные средства призваны помочь незрячим и слабовидящим людям получить доступ к современным технологиям (компьютер, мобильный телефон, интернет). Тифлотехника, отрасль приборостроения специального назначения, относящаяся к разработке технических средств для обучения, производственной подготовки, трудовой деятельности и культурно-бытового обслуживания слепых, слабовидящих и слепоглухих, а также для коррекции, развития, восстановления зрения. В современных условиях глобальной информатизации общества создание безбарьерной информационной среды для незрячего пользователя требует наличия специальной тифлоинформационной техники [2].

По статистике, собранной библиотеками по всей России порядка 1,5 миллиона инвалидов по зрению интересуются информационными технологиями. Промежуточным звеном в этой связи являются библиотеки. Основная цель проекта- систематизация имеющихся фондов библиотеки в ка-

талог и доступ к фондам библиотеки, средствами интернет удаленных пользователей, в том числе и с ограничениями по зрению. Разработка основана на уже существующих технологиях в организации баз данных библиотек: автоматизированной информационно-библиотечной системы ИРБИС и Базе данных “Говорящих книг”. Был проведен сравнительный анализ существующей системы ИРБИС – 64 и проектируемого ресурса. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ проектов

	Web-ИРБИС	Тифлокаталог
Полнотекстовой поиск	+	+
Совместимость с программами экранного доступа	-	+
Масштабирование шрифтов	-	+
Инверсия цвета фона	-	+
Объединение нескольких библиотечных баз данных в одном каталоге	-	+
Наличие статического ip-адреса	+	-
Стоимость(руб.)	60 000,00	10 000,00

Новизна проекта заключаться в следующих возможностях:

- использовании современных технологий стилизации web-страниц, которые позволяют масштабировать веб-страницы на экран смартфона планшета и стационарного компьютера,

- настройка электронного каталога для специализированных библиотек и обычных библиотек,

- совместимость с программами экранного доступа JAWS, NVDA, т.е. программ, которые проговаривают выделенную на дисплее информацию. Совместимость актуальна, так как очень мало интернет страниц, которые оптимизированы под слепого и слабовидящего пользователя.

- настройка электронного каталога из различных библиотечных баз данных. На основе исследований, проводившихся в «Областной специальной библиотеке для слепых им.Н. Островского» в г.Калуга, разработан дизайн страниц:

- настройка стилей для слабовидящих,
- масштабирование шрифтов на странице,
- обращение фона в черный, а текста на высококонтрастный, яркий.

С учетом специфики пользователей, планируется подключение синтезатора речи для проговаривания записей БД.

Основным результатом данного проекта является интернет сервис по созданию электронного тифлотехнического каталога для библиотек, то есть пользователь библиотеки заходит на сайт, регистрирует библиотеку, оплачивает каталог, выполняет начальную настройку и получает конечный продукт - страничка каталога и страничка администратора.

Страничка каталога -это собственно каталог библиотеки с функциями поиска, фильтрации по носителям (текст, диск) и выгрузки в word документ карточки.

Страничка администратора – это настройка внешнего вида каталога, импорт БД, импорт новых поступлений. В России большинство библиотек использует БД ИРБИС, но не имеют интернет каталога. Например, в библиотеках им. Островского, Детской библиотеке г. Калуга используют БД ИРБИС, но из-за высокой стоимости Web-ИРБИС не могут себе позволить эту услугу. В данном случае предлагается более дешевый продукт как для обычных, так и для специализированных библиотек.

Основная цель использования программных тифлотехнических средств в работе специализированной библиотеки - улучшение обслуживания людей с ограниченными возможностями, их реабилитация и адаптация в обществе.

Список литературы

1.Тифлотехнические средства реабилитации: пособие по тифлотехнике.ГКУК КО специальная библиотека им.Н.Островского. 2008 . С. 63.

2.Гришин Ю.К., Онуфриева Т.А., Мазин А.В. Современное состояние и проблемы развития тифлоинформационной техники. Радиопромышленность. 2013. № 3. С. 133-144.

Крысин Иван Александрович– студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: imouse101@gmail.com.

А.В. Родионов, А.С. Панюков, А.А. Големинов

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО УПРАВЛЕНИЮ ОБНОВЛЕНИЯМИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Распространение и своевременное обновление программного обеспечения является важным этапом в цикле разработки. Своевременная доставка обновлений и исправлений программных продуктов повышает его безопасность и стабильность. Если количество разрабатываемых продуктов не велико, то распространение и своевременное обновление их у клиентов не такая тяжелая задача. Но со временем количество выпущенных продуктов увеличивается. Распространение и поддержка в актуальном состоянии каждого продукта без должной автоматизации становится очень трудоемкой задачей. В связи с этим встала задача по созданию программного комплекса, который будет заниматься этими процессами.

Поскольку данные о программных продуктах будут храниться в одном месте, а получать их придется с разных устройств с разными операционными системами, то было решено при разработке комплекса придерживаться REST архитектуры [1]. Используется единый интерфейс между клиентами и серверами. Разделение интерфейсов означает, что клиенты не связаны с хранением данных, которое остается внутри каждого сервера, так что мобильность кода клиента улучшается. Серверы не связаны с интерфейсом пользователя или состоянием, так что серверы могут быть проще и масштабируемы. Серверы и клиенты могут быть заменяемы и разрабатываться независимо, пока интерфейс не изменяется. При REST архитектуре необходимое состояние для обработки запроса содержится в самом запросе, либо в рамках URI, параметрах строки запроса, тела или заголовках. Дополнительно, клиент может кэшировать ответы. Таким образом, ответы явно или неявно определяют себя как кешируемые или нет, для предотвращения повторного использования клиентами устаревших или некорректных данных в ответ на дальнейшие запросы. Таким образом, клиенты не могут сказать - они подключены напрямую к серверу или общаются через посредника. Промежуточный сервер может улучшить масштабируемость системы, обеспечивая балансировку нагрузки и предоставляя общий кэш, а слои, в свою очередь, также могут отвечать за политику безопасности. Серверы, так же, могут временно расширять или кастомизировать функционал клиента, передавая ему логику, которую он может исполнять. Например, это могут быть скомпилированные Java-апплеты или клиентские скрипты на Javascript.

Соблюдая эти ограничения, и, таким образом, придерживаясь RESTful архитектуры, разрабатываемому комплексу иметь такие свойства как: производительность, расширяемость, простота, обновляемость, понятность и надежность. В результате разработка комплекса подразделяется на разработку серверной и клиентской частей, которые связаны между собой только способом общения.

После анализа инструментов для разработки были выбраны способы хранения и обработки информации, а также язык программирования для написания обработчиков сервиса. В качестве системы управления базами данных была выбрана MariaDB. Такому решению способствовал опыт разработки программных продуктов с использованием СУБД MySQL, но поскольку политика лицензирования MySQL становится неопределенной, решено было использовать СУБД, являющуюся ответвлением, которое разрабатывает сообщество.

В качестве языка программирования для разработки программного комплекса был выбран Golang. Основные преимущества языка Go:

- Простой и понятный синтаксис. Это делает написание кода приятным занятием.
- Статическая типизация. Позволяет избежать ошибок, допущенных по невнимательности, упрощает чтение и понимание кода, делает код однозначным.
- Скорость и компиляция. Скорость у Go в десятки раз быстрее, чем у скриптовых языков, при меньшем потреблении памяти. При этом, компиляция практически мгновенна. Весь проект компилируется в один бинарный файл, без зависимостей. Отпадает необходимость заботиться о памяти, есть сборщик мусора.
- Отход от ООП. В языке нет классов, но есть структуры данных с методами. Наследование заменяется механизмом встраивания. Существуют интерфейсы, которые не нужно явно имплементировать, а лишь достаточно реализовать методы интерфейса.
- Параллелизм. Параллельные вычисления в языке делаются просто и изящно. Горутины (похожи на потоки) легковесны, потребляют мало памяти.
- Богатая стандартная библиотека. В языке есть все необходимое для веб-разработки и не только. Количество сторонних библиотек постоянно растет. Кроме того, есть возможность использовать библиотеки C и C++.
- Возможность писать в функциональном стиле. В языке есть замыкания (closures) и анонимные функции. Функции являются объектами первого порядка, их можно передавать в качестве аргументов и использовать в качестве типов данных.

- Авторитетные создатели и сильное комьюнити. Сейчас у языка более 300 контрибьюторов. Язык имеет сильное сообщество и постоянно развивается.

- Open Source[2].

Разрабатываемый программный комплекс будет представлять собой посредника между разработчиком программного продукта и клиентом. В качестве издателя распространяемого программного обеспечения рассматривается пользователь, прошедший процедуру регистрации и авторизации в качестве издателя. Пользователь с привилегиями издателя имеет возможность опубликовывать программное обеспечение и заполнять метаинформацию, получать статистику по распространению своего продукта. В качестве клиента рассматривается авторизованный на сервисе пользователь, который через программу-посредник имеет возможность своевременно получить обновление интересующего его программного продукта.

Таким образом, кроме серверной части разрабатываемого программного комплекса, необходим интерфейс взаимодействия с издателями программных продуктов, а также программу-клиент, которая будет установлена клиентских устройствах.

Клиентская часть представляет собой веб-интерфейс для пользователей, администратора и издателей продуктов и программу-менеджер обновлений, работающую в фоновом режиме без прямого взаимодействия с пользователем. Программа-менеджер ставится на каждую клиентскую машину и поддерживает все установленные продукты в актуальном состоянии. Файлы продуктов хранятся в отдельной директории. Если обновление носит критический характер менеджер в фоновом режиме загружает обновление и выполняет все процедуры необходимые для установки новой версии продукта.

Веб-интерфейс пользователя - это личный кабинет со всей необходимой информацией об установленных продуктах, их версиях, новостях по продуктам.

Для администратора и издателей продуктов интерфейс является инструментом для мониторинга скачанных пользователями обновлений, редактирования базы данных, выставления приоритетов загруженным обновлениям.

Для реализации веб-интерфейса выбран сценарный язык программирования javascript. Преимущества данного языка, которые повлияли на его выбор:

- поддерживается наиболее популярными браузерами «по умолчанию»;

- очень высокая скорость работы JavaScript;

- скрипты (программы, написанные на языке JavaScript) подключаются к HTML коду web страницы напрямую и при загрузке сразу же выполняются [3].

Для реализации программы-менеджера выбран язык Python. Несомненным его достоинством является то, что большая часть программ на языке Python выполняется без изменений на всех основных платформах. Также Python предоставляет массу возможностей по созданию переносимых графических интерфейсов.

По завершению разработки программного комплекса он будет внедрен в Отдел Перспективных Разработок ЗАО «Калуга-Астрал».

Список литературы

1. <http://www.restapitutorial.ru/> Руководство по REST API
2. <https://golang.org/doc/> Документация языка Go.
3. Рейсиг Д. JavaScript. Профессиональные приемы программирования. — СПб.: Питер, 2008. — С. 76.

Родионов Андрей Викторович — канд. техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andviro@gmail.com.

Панюков Александр Сергеевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: student@hotmail.com.

Големинов Александр Алексеевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mysteriousmoonworld@gmail.com.

П.И. Сенокосов, Н.А. Борсук

РАЗРАБОТКА САЙТА ДЛЯ МАГАЗИНА ПРОДАЖИ ЦВЕТОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Перед началом разработки сайта магазина цветов необходимо определить требования к разрабатываемому ресурсу. Сайт должен быть функционирующий, с заполненным контентом, работающими внутренними ссылками. Товары и услуги, представленные на сайте, не должны противоречить действующему законодательству РФ. Продаваемые интернет-магазином товары и услуги должны быть подробно описаны. Описание должно включать характеристики предлагаемых товаров и услуг, их потребительские свойства и цену.

После определения требований и наполнения сайта, следует выбрать платформу, с помощью которой сайт будет разработан и подготовлен к работе.

При разработке сайта приходится сталкиваться с задачей выбора CMS - информационных систем или компьютерных программ, используемых для обеспечения и организации совместного процесса создания, редактирования и управления содержимым. В настоящее время набирает популярность отечественная CMS, под названием 1С-Битрикс.

В состав программного продукта «1С-Битрикс: Управление сайтом» входят модули для создания интернет-магазина, управления производительностью, информационным наполнением, структурой, форумами, рекламой и другими возможностями сайта. Данная платформа позволяет осуществлять управление электронными каналами продаж товаров и услуг. Так же возможна интеграция с платежными системами, аффилиатские сети, настройка параметров магазина, управление заказами клиентов. [1][2] Основное преимущество системы CMS 1С-Битрикс заключается в отсутствии необходимости знания языка гипертекстовой разметки и языков веб-программирования. Следует только выполнить предварительную настройку продукта – создать шаблоны дизайна, структуру разделов и интернет-страниц, а также подключить ряд дополнительных модулей. Реализацию данных задач берут на себя партнеры компании. [1][4] Для разработки дизайна сайта используется графический редактор Adobe Photoshop. Несмотря на то, что изначально программа была разработана как редактор изображений для полиграфии, в данное время она широко используется и в веб-дизайне. [3]

Основными страницами (разделами сайта) являются:

1. Главная. На данной странице приводится информация об организации, ее услугах и контактах;
2. Список продукции, спецпредложения и акции;

3. Новости текущие и архив новостей.
4. Личный кабинет, с возможностью редактировать корзину товаров.

В настоящее время, сайт для магазина продажи цветов подходит к финальной стадии разработки, и в ближайшее время будет запущен в тестовом режиме. Реализован сам магазин цветов, возможность регистрации пользователей, возможность пополнения корзины, оплата товара с помощью банковской карты и прочее. По истечении тестового периода, сайт перейдет в режим открытого пользования, и будет доступен для использования всем желающим.

Список литературы

1. <http://www.1c-bitrix.ru/products/cms/features/>
2. [//ru.wikipedia.org/wiki/1C-bitrix](http://ru.wikipedia.org/wiki/1C-bitrix)
3. <http://matthew.wagerfield.com/photoshop/>
4. <https://dev.1c-bitrix.ru/learning/course>

Сенокосов Павел Игоревич— студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: rouel.boom@gmail.com.

Борсук Наталья Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: borsuk.65@yandex.ru.

Н.С.Львов, В.С.Смирнов

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МАЛОЙ ЛВС

ФГБОУ ВО "Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники" (МИРЭА, МГУПИ)

Введение. В последние годы малые локальные сети находят все большее и большее применение в быту и на производстве. Эти сети строятся по топологии «звезда» по стандарту 100Base-TX или 1000Base-T, с использованием в качестве среды передачи данных кабеля «витая пара» (UTPcat.5 и выше). [1] Данные сети могут использоваться для передачи данных между ПК и другим оборудованием, но чаще всего они используются для обеспечения совместного доступа к сети Интернет для множества пользователей. В большинстве случаев они включают в себя беспроводной сегмент, построенный с использованием стандарта 802.11, имеющего торговую марку «Wi-Fi». Для построения таких сетей используется сетевое оборудование – маршрутизаторы, со встроенными коммутаторами и беспроводными точками доступа, в обиходе называемые «роутерами» (от англ. «router» - маршрутизатор). Некоторые производители (например, ZyXEL) дают таким устройствам название «Домашний интернет-центр», подчеркивая тем их универсальность. Обычно, такое устройство выполняет следующие функции:

- Маршрутизатор с функцией трансляции сетевых адресов (NAT)
- Межсетевой экран
- DHCP-сервер
- Сетевой коммутатор (чаще всего 4-х портовый)
- Беспроводная точка доступа (802.11)
- Файл-сервер, принт-сервер (в таком случае, устройства имеют встроенные USB-порты для подключения принтеров или переносных жестких дисков)

Имея такое устройство, пользователь может, не обладая специальными знаниями, за несколько часов организовать малую локальную сеть с проводным и беспроводным сегментами, и подключить к ней компьютеры, а также прочие устройства – смартфоны и бытовую технику, например, некоторые современные модели телевизоров. Популярность таких устройств, а также домашних ЛВС с беспроводным сегментом неуклонно возрастает. Однако вместе с этим, встает вопрос безопасности, т.к. среда передачи данных – радиоволны – часто бывают доступны вне пределов помещения, в котором построена сеть. Несмотря на то, что эти устройства поддерживают протоколы шифрования для беспроводных сетей (WEP, WPA2 и т.д.), безопасность при использовании стандартных средств остается не на высоком уровне, т.к. уязвимости в протоколе WEP были найдены уже достаточно

давно, и ПО для их эксплуатации распространено в сети Интернет (напр., aircrack-ng). WPA2-PSK может быть взломан при помощи метода грубой силы (bruteforce), также существуют онлайн-сервисы, которые за плату выполняют подбор PSK-хэша при помощи вычислительного кластера. [2] Также некоторые модели домашних маршрутизаторов используют технологию WPS для упрощения подключения устройств, который содержит в себе уязвимости, позволяющие злоумышленнику получить доступ к сети. [3]

Однако многие организации, несмотря на низкую защищенность сетей, построенных при помощи таких устройств, используют их за счет сравнительно низкой цены. При этом риски, связанные со взломом и последующей утечкой информации, в разы превышают затраты на использование более защищенных устройств.

Предложение по решению проблемы

В данной статье предлагается решить проблему низкой защищенности малых ЛВС, построенных на базе беспроводных маршрутизаторов «домашнего» уровня.

Предлагается подключить к роутеру через USB-порт (почти все современные модели имеют его) USB-концентратор, а через него – следующее оборудование:

- USB флэш-накопитель
- USB звуковую карту
- Динамик с питанием от USB

Потребляемой мощности вышеуказанного оборудования хватит для питания от одного порта, таким образом не потребуются использование дополнительного источника питания.

Также необходимо разработать специализированное программное обеспечение, которое позволит дополнить имеющиеся функциональные возможности роутера системой мониторинга состояния последнего, а также локальной сети, с возможностью протоколирования и аудиооповещения. Разрабатываемое ПО должно иметь следующие функции:

- Мониторинг состояния портов встроенного коммутатора на физическом уровне модели OSI, а также порта WAN, аудиооповещение об изменении их состояния с протоколированием.

- Мониторинг интерфейса WAN на сетевом уровне модели OSI (например, получение IP-адреса от DHCP провайдера), протоколирование и аудиооповещение об изменениях.

- Мониторинг и протоколирование наличия соединения с сетью Интернет, путем отправки ICMP-запросов на сервер, который условно считается 100% доступным, например, yandex.ru. Интервал отправки запросов - 1 минута

- Отслеживание событий встроенного DHCP-сервера – выдача аренды, окончание аренды, их протоколирование и аудиооповещение.

- Мониторинг состояния беспроводного интерфейса, и факта передачи данных с IP-адресов, которые не были выданы DHCP-сервером (т.е., назначенные статически), протоколирование и аудиооповещение. Интервал мониторинга – 1 минута

- Мониторинг ARP-таблицы маршрутизатора, и факта наличия в ней IP-адресов, которые не были выданы DHCP-сервером (т.е., назначенные статически), протоколирование и аудиооповещение

- Наличие веб-интерфейса для управления вышеописанными функциями: чтение и выгрузка протокола, настройка уровня аудиооповещений, соответствий IP-адресов понятным именам при аудиооповещениях, и так далее.

В рамках данной работы в качестве роутера для разработки ПО была выбрана распространенная на рынке модель Asus RT-N13U rev.B1

К встроенному USB-порту через USB-разветвитель подключается все необходимое оборудование (см. рис.1).

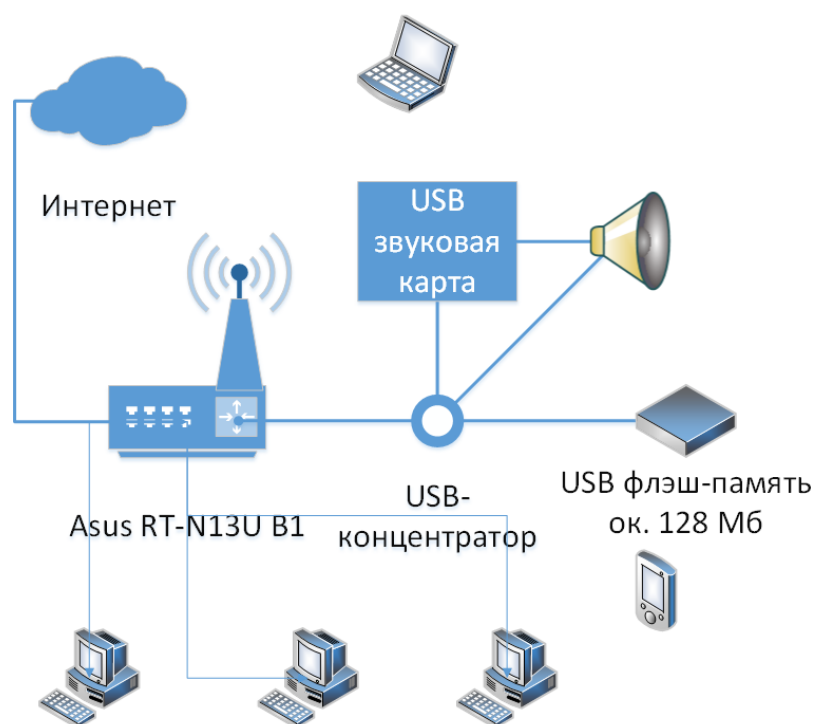


Рисунок 5. Схема подключения периферийных устройств

Для реализации всего вышеперечисленного заводское микропрограммное обеспечение (предустановленное на флэш-память роутера производителем) не подойдет в силу своей оптимизации под конкретные задачи (см. выше). Потребуется программное обеспечение с большим набором возможностей, которое будет включать в себя необходимые инструменты, а также различные драйвера нестандартных для роутера устройств (USB-звуковая карта, USB-концентратор и др.), и некоторые другие специфичные функции, которые отсутствуют в стандартном ПО (например, root доступ к файловой системе через ssh).

В настоящее время распространены две универсальные операционные системы для роутеров — это DD-WRT [4] и OPEN-WRT. [5]

Использование DD-WRT в данной работе невозможно, в силу закрытости исходного кода и перегруженности ненужными компонентами. Поэтому в данном случае более разумным решением станет создание более узкоспециализированной системы, на основе OPEN-WRT. Это полноценная операционная система, оптимизированная для работы на маршрутизаторах, в т.ч. «домашних». Компилируется пользователем из исходных кодов (представляет собой систему с открытым исходным кодом), позволяя самостоятельно выбрать список предустановленных функций и ПО. Веб-интерфейса для управления по умолчанию не имеет, но последний может быть установлен в систему из репозитория.

На данный момент последняя версия OPEN-WRT — «Chaos Calmer 15.05» (выпущенная в свет 11 сентября 2015 года). По стабильности и скорости работы она весьма уступает предыдущей версии, поэтому остановим свой выбор на версии «Barrier Breaker 14.07».

Скомпилируем из исходных кодов файл прошивки для выбранного роутера. В данном случае в роутере Asus RT-N13U (rev.B1) используется чип RT3052 на MIPS архитектуре. Добавим в прошивку базовый функционал, включив также компоненты для работы со звуковыми устройствами, usb-концентратором и флеш накопителями. После прошивки подключаемся к роутеру и конфигурируем его для работы в ЛВС.

После настройки базовых функций роутера перейдем к реализации непосредственно самой системы мониторинга, протоколирования и оповещения. Подключим к роутеру периферийные устройства (см. рис.1) и убедимся, что драйвера и программы, отмеченные на этапе сборки прошивки, правильно распознали имеющееся оборудование. Реализация системы аудиооповещения осуществляется за счет набора заранее записанных звуков, соответствующих словам. Сбор слов в фразы осуществляется разрабатываемым ПО. Полный набор используемых слов занимает около 50 Мб, поэтому его размещение в флэш-памяти устройства не представляется возможным в силу его ее малого объема (8 Мб). Поэтому предлагается записать его на подключаемый флэш-накопитель, который будет монтироваться в /overlay роутера при загрузке ОС.

Доустановим на ОС необходимое для работы ПО, такое как mc, lusb, swconfig, bash и др. Далее идет разработка ПО, реализующего мониторинг и протоколирование вышеуказанных событий, а также выполняющее «сборку» фраз для проигрывания через динамик при определенных событиях. Разработка осуществляется на языке BASH.

Последним этапом будет настройка на роутере веб-сервера uhttpd, разработка веб-интерфейса при помощи HTML с использованием языка PHP, для возможности быстрой и удобной настройки ПО и управления устройством.

Заключение. В данной работы был описан процесс разработки системы мониторинга малой ЛВС, построенной на базе «домашней» модели беспроводного маршрутизатора. Эта система существенно расширяет функциональные возможности маршрутизатора, а также существенно повышает безопасность при работе в ЛВС. Так, при подключении к сети любого компьютера или устройства (как с использованием DHCP-сервера, встроенного в маршрутизатор, так и с использованием статически заданного IP-адреса) ПО мониторинга отслеживает это устройство и через динамик выводит предупреждение, включающее в себя MAC и IP-адрес устройства. Также есть возможность создать «белый» список устройств, при подключении к сети которых будет выдаваться заранее настроенное предупреждение.

Таким образом, пользователи, работающие в помещении, смогут быстро определить факт подключения к их сети посторонних устройств и принять соответствующие меры, например – сменить PSK-пароль беспроводной сети, или обследовать проводной сегмент на предмет врезок, и так далее.

Данная разработка может использоваться в малых ЛВС, например – домашних, либо же сетях малых офисов. Ограничение на размер сети заключается только в помещениях, в которых пользователи смогут слышать аудиооповещения от динамиков.

Библиографический список

- [1] Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 992 с.: ил.
- [2] Сервис для подбора PSK-хэша. URL: <https://gpuhash.me/?menu=ru-main>
- [3] Взлом WPS. URL: <http://habrahabr.ru/company/xakep/blog/143834/> (дата обращения 1.11.2015)
- [4] О DD-WRT. URL: http://www.dd-wrt.com/wiki/index.php/What_is_DD-WRT%3F (дата обращения 1.11.2015)
- [5] Об OPEN-WRT. URL: <http://wiki.openwrt.org/about/start> (дата обращения 1.11.2015)

Львов Никита Сергеевич— преп.ФГБОУ ВО "Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники" (МИРЭА, МГУПИ). E-mail: lvov_ns@mgupi.ru.

Смирнов Валентин Сергеевич– студент ФГБОУ ВО "Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники" (МИРЭА, МГУПИ). E-mail: cmp18@ya.ru.

А.В. Максимов, Е.В. Климанова

РЕШЕНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ТРИАНГУЛЯЦИИ В КВАТЕРНИОННОМ БАЗИСЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Среди множества задач, выполняемых современными комплексами радиолокации, одной из наиболее важных является расчёт дальности до объекта. Реализация алгоритмов для этой цели, например, триангуляционного, предполагает определённую нагрузку на вычислительную машину за счёт вычисления тригонометрических функций, что не всегда возможно обеспечить в быстро меняющейся обстановке. Поэтому требуется исследование по поиску простых, эффективных решений, лишённых недостатков предшественников. Таким решением могло бы стать привлечение алгебры кватернионов на службу радиолокации.

Одну из задач триангуляции в трёхмерном пространстве можно сформулировать аналогично задаче на плоскости [1]. Пусть из двух точек, расстояние между которыми известно, пеленгуют цель. Углы, под которыми запеленгована цель по отношению к линии, соединяющей точки пеленгов, так же известны. Известна высота цели. Требуется определить расстояние от точки второго пеленга до цели. Рисунок 1 иллюстрирует постановку задачи.

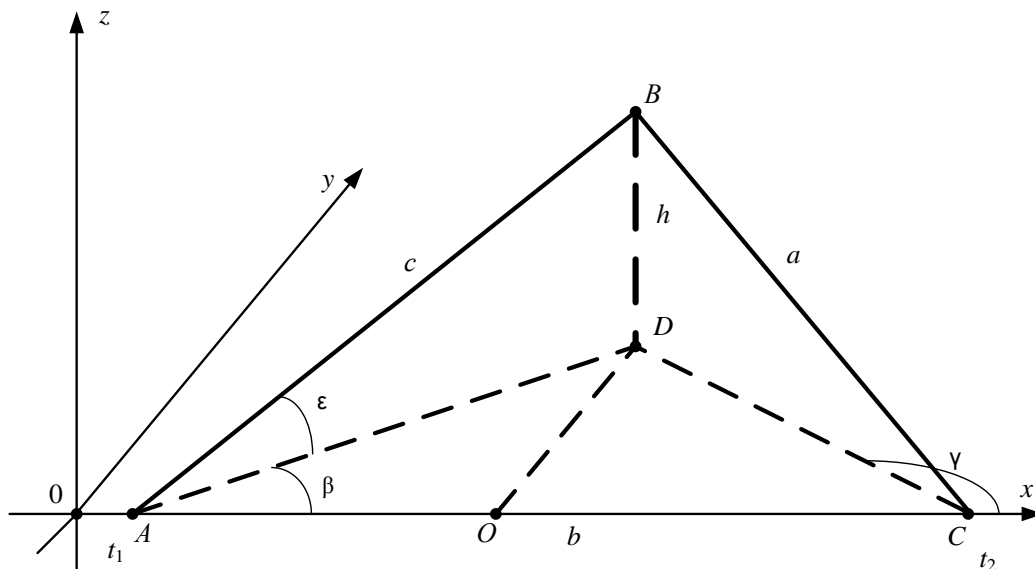


Рисунок 1. Постановка задачи трехмерной триангуляции
Здесь линия AC – база пеленгации; A и C – точки пеленгов, A – первого, C – второго; γ , β – курсовые углы; ϵ – угол места точки A ;
 t_1 – время первого пеленга, t_2 – время второго пеленга; h – высота.

Решим нашу задачу геометрически. Из треугольника BCD расстояние до цели можно представить как

$$a = \sqrt{h^2 + DC^2}, \quad (1)$$

$$DC^2 = DO^2 + CO^2. \quad (2)$$

Поскольку b известно, то из треугольников BOD, OCD и AOD следуют:

$$CO = b - OA, \quad (3)$$

$$OA = AD * \cos(\beta),$$

$$DO = AD * \sin(\beta),$$

$$AD = h * \operatorname{tg}(\varepsilon), \quad (4)$$

$$OA = h * \operatorname{tg}(\varepsilon) * \cos(\beta).$$

Подставим последнее выражение в (3) и, учитывая (4), получим:

$$DC^2 = (h * \operatorname{tg}(\varepsilon) * \sin(\beta))^2 + (b - h * \operatorname{tg}(\varepsilon) * \cos(\beta))^2.$$

На основании последнего выражения, с учётом (1), после несложных преобразований окончательно получим:

$$a = \sqrt{h^2 + h * \operatorname{tg}(\varepsilon) * (h * \operatorname{tg}(\varepsilon) - 2 * \cos(\beta)) + b^2}. \quad (5)$$

Решим поставленную задачу с помощью кватернионов [2]. Пусть процесс пеленгации начинается в момент времени t_0 . В этот момент пеленгатор включает устройства обзора, вычислитель которого начинает вычислять кватернион конечного поворота путем интегрирования кватернионных кинематических уравнений при постоянном векторе угловой скорости. Численное значение проекций вектора угловой скорости в поставленной задаче учитывать не будем. Для решения задачи в трёхмерном пространстве, пеленгатор должен последовательно повернуть ось приемника вокруг двух осей. Вокруг оси Z на угол β , затем вокруг оси X на угол ε . Таким образом, в момент пеленга t_1 фиксируется первый кватернион конечного поворота Δ , в момент второго t_2 – кватернион M .

Поскольку кинематические уравнения в кватернионах для связанной системы координат имеют вид [3]:

$$\begin{aligned} \frac{d\lambda_0}{dt} &= -\frac{1}{2}(\omega_x \lambda_1 + \omega_y \lambda_2 + \omega_z \lambda_3) \\ \frac{d\lambda_1}{dt} &= \frac{1}{2}(\omega_x \lambda_0 + \omega_z \lambda_2 - \omega_y \lambda_3) \\ \frac{d\lambda_2}{dt} &= \frac{1}{2}(\omega_y \lambda_0 + \omega_x \lambda_3 - \omega_z \lambda_1) \\ \frac{d\lambda_3}{dt} &= \frac{1}{2}(\omega_z \lambda_0 + \omega_y \lambda_1 - \omega_x \lambda_2) \end{aligned}, \quad (6)$$

то поворот вокруг оси OZ осуществляется при $\omega_x = \omega_y = 0$, $\omega_z = const$

В этом случае система (6) примет вид:

$$\begin{aligned}\frac{d\lambda_0}{dt} &= -\frac{1}{2}(\omega_z \lambda_3) \\ \frac{d\lambda_3}{dt} &= \frac{1}{2}(\omega_z \lambda_0)\end{aligned}$$

Решение последней системы имеет вид:

$$\lambda_0(t_1) = \cos\left(\frac{\theta_1}{2}\right), \quad \lambda_3(t_1) = \sin\left(\frac{\theta_1}{2}\right). \quad (7)$$

Здесь θ_1 – угол поворота устройства обзора, совпадающий с углом пеленга β :

$$\theta_1 = \theta(t_1) = \beta$$

Поворот вокруг оси OX выполняется при $\omega_z = \omega_y = 0$, $\omega_x = const$.

В этом случае система (6) принимает вид

$$\begin{aligned}\frac{d\lambda_0}{dt} &= -\frac{1}{2}(\omega_x \lambda_1) \\ \frac{d\lambda_1}{dt} &= \frac{1}{2}(\omega_x \lambda_0)\end{aligned},$$

а ее решение есть

$$\lambda_0(t_2) = \cos\left(\frac{\theta_2}{2}\right), \quad \lambda_1(t_2) = \sin\left(\frac{\theta_2}{2}\right). \quad (8)$$

В этот момент времени угол поворота устройства обзора совпадает с углом пеленга ε :

$$\theta_2 = \theta(t_2) = \varepsilon$$

Кватернион конечного поворота в момент времени t_1
 $\Delta = \lambda_0(t_1) + k\lambda_3(t_1)$.

Кватернион конечного поворота в момент времени t_2
 $M = \lambda_0(t_2) + i\lambda_1(t_2)$.

С учётом (7) и (8) выражение (5) принимает вид:

$$a = \sqrt{h^2 + h * \frac{\lambda_1(t_2)}{\lambda_0(t_2)} * \left(h * \frac{\lambda_1(t_2)}{\lambda_0(t_2)} - 2 * \lambda_0(t_1) \right) + b^2}. \quad (9)$$

Очевидно, что решение (9) предпочтительнее с точки зрения вычислительной устойчивости, так не требует вычисления тригонометрических функций.

Литература:

[1] Тяпкин В.Н., Фомин А.Н., Гарин Е.Н. *Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск*. Тяпкин В.Н., ред. Красноярск, Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2011, 536 с.

[2] Кантор И.Л., Солодовникова А.С. *Гиперкомплексные числа*. Кантор И.Л., ред. Москва, Изд-во Наука, 1973, 144с.

[3] Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Бранец В.Н. *Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела*. Бранец В.Н., ред. Москва, Изд-во Наука, 1973, 320с.

Максимов Александр Викторович— канд. техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: av.maximov.eiu2@yandex.ru.

Климанова Елена Васильевна— аспирант, АО "КНИРТИ", г. Жуков. E-mail: e-v-klimanova@yandex.ru.

А.В. Максимов, Н.В. Татьянич

СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ПО ЗАДАННОЙ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЕ АЧХ

КФ МГТУим. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Основная проблема при проектировании цифровых фильтров (ЦФ) заключается в улучшении их частотных характеристик. Необходимость ограничения числа звеньев ЦФ, и связанное с этим ограничение времени действия импульсных характеристик (ИХ) фильтров любого типа, неизбежно приводят к завалу фронтов и появлению выбросов и пульсаций в частотной характеристике фильтра, что приводит к искажениям обрабатываемых сигналов.

Обычно проектирование (ЦФ) выполняется по аналоговому прототипу [1,2,3]. Прототип задается в виде электрической схемы четырехполюсника, электрического фильтра, передаточной функции, частотных характеристик, импульсной характеристики и т.п. Как правило, предполагается идеальная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) с прямыми фронтами. АЧХ спроектированных ЦФ существенно отличаются от идеальных характеристик. Фронты таких характеристик имеют неустранимые завалы (переходные зоны), а полосы пропускания и задерживания имеют выбросы и пульсации, вызывающие линейные искажения сигналов.

В предлагаемой работе рассмотрен метод расчета и проектирования трансверсального ЦФ нижних частот по АЧХ с заранее заданной переходной зоной. Характеристика задается с указанием граничной частоты Ω и переходной зоны $\Delta\Omega$ (рис.1).

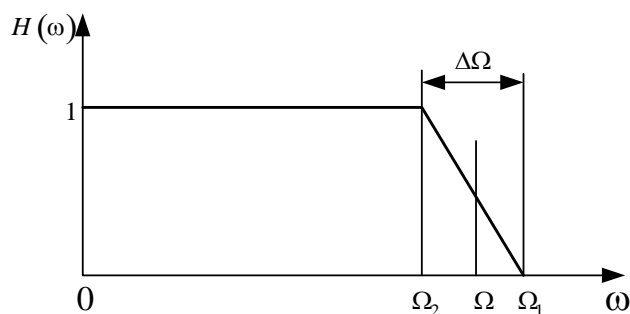


Рис.1. АЧХ ЦФ НЧ

Заданную АЧХ продолжим в область отрицательных частот, чем обеспечим возможность получить ИХ, представленную действительной функцией. Полученная вспомогательная характеристика $G(\omega)$ в таком виде имеет форму равнобедренной трапеции. Ее можно построить, соединив два равнобедренных треугольника: один в привычном положении, другой – в

перевернутом, со следующими параметрами: основание первого равно $2\Omega_1$, а второго $2\Omega_2$. (рис.2).

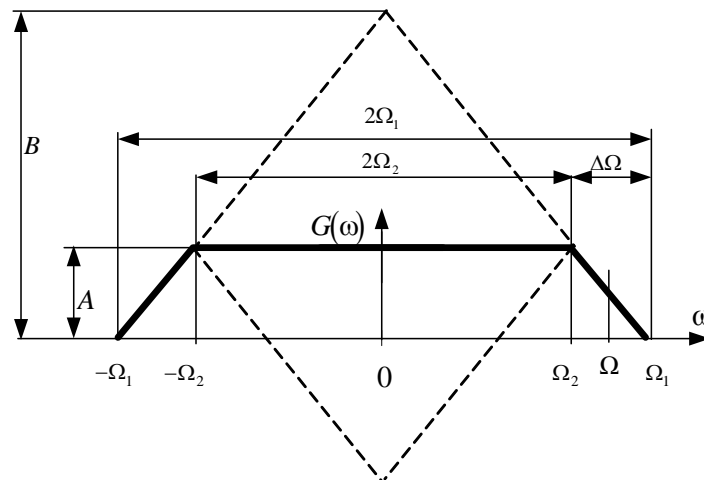


Рис.2. Построение вспомогательной АЧХ- $G(\omega)$

Характеристику $G(\omega)$ аналитически можно описать следующим образом:

$$G(\omega) = G_1(\omega) - G_2(\omega); \quad (1a)$$

$$G_1(\omega) = \begin{cases} \alpha(\omega + \Omega_1), & -\Omega_1 \leq \omega \leq 0; \\ B - \alpha \cdot \omega, & 0 < \omega \leq \Omega_1; \end{cases}$$

$$G_2(\omega) = \begin{cases} \alpha(\omega + \Omega_2), & -\Omega_2 \leq \omega \leq 0; \\ (B - A) - \alpha \cdot \omega, & 0 < \omega \leq \Omega_2. \end{cases} \quad (1б)$$

При построении вспомогательной АЧХ зададим следующие ее параметры:

- частота среза $\Omega = \pi = 3.141592653589793$,
- ширина переходной зоны АЧХ $\Delta\Omega$,
- отношение ширины переходной зоны АЧХ к частоте среза $\beta = \Delta\Omega/\Omega$,
- наибольшее значение АЧХ: $A = 1$,
- крайние границы вспомогательной АЧХ: $-\Omega_1 \dots \Omega_1$,
- крайние границы средней части вспомогательной АЧХ: $-\Omega_2 \dots \Omega_2$,
- параметры переходной зоны: $\Omega_1 = \Omega + \Delta\Omega/2$; $\Omega_2 = \Omega - \Delta\Omega/2$,
- наклон боковых сторон треугольников $\alpha = \frac{A}{\Delta\Omega} = \frac{1}{\Delta\Omega}$,
- высота большего треугольника $B = \alpha \cdot \Omega_1$,
- высота меньшего треугольника $B - A$

Обратное преобразование Фурье функций, представленных формулами (1a) и (1б), дает возможность получить аналитическое выражение вспомогательной ИХ:

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\Omega_1}^{\Omega_1} G(\omega) e^{j\omega t} d\omega = \frac{B}{2\pi} \int_{-\Omega_1}^{\Omega_1} G_1(\omega) e^{j\omega t} d\omega - \frac{B-A}{2\pi} \int_{-\Omega_2}^{\Omega_2} G_2(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (2)$$

После взятия интегралов получим

$$h(t) = \frac{B \cdot \Omega_2}{2\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\Omega_2}{2} t}{\frac{\Omega_2}{2} t} - \frac{(B-A) \cdot \Omega_1}{2\pi} \cdot \frac{\sin \frac{\Omega_1}{2} t}{\frac{\Omega_1}{2} t}. \quad (3)$$

График вспомогательной ИХ показан на рисунке 3.

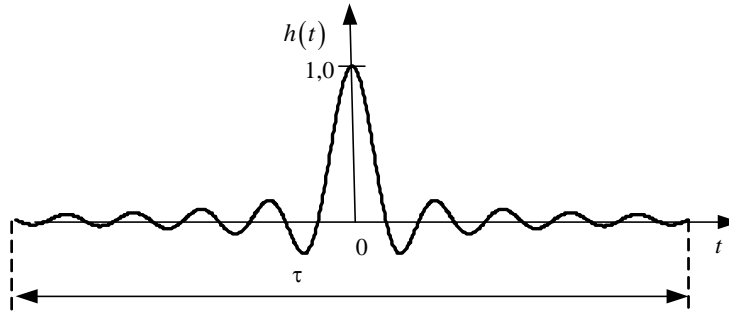


Рис.3. Вспомогательная импульсная характеристика

Полученный график сдвинем вправо на половину заданной продолжительности ИХ, а затем дискретизируем его:

$$h_k = h(k) = h(kT). \quad (4)$$

Оцифрованная импульсная характеристика ЦФ имеет вид (рис. 4):

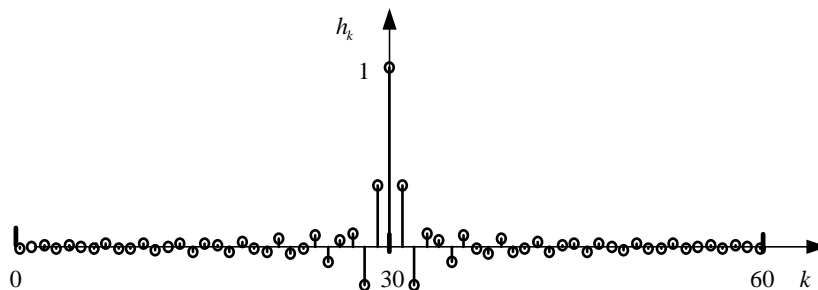


Рис.4. Импульсная характеристика ЦФ

На рисунке 5 показан фрагмент дискретизации непрерывной $h(t)$. Интервал дискретизации T выбирался так, чтобы первый минимум $h(t)$ был удален от центра главного лепестка на $2T$.

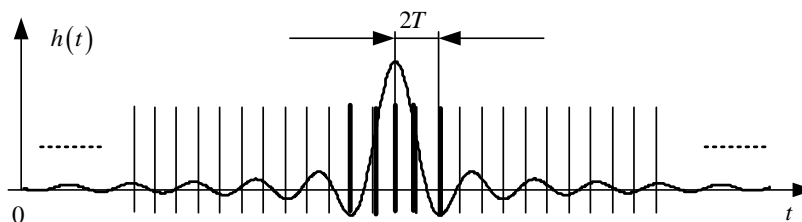


Рис.5. Дискретизация импульсной характеристики

Моменты регистрации дискретных значений, за исключением пяти выделенных центральных, не совпадают с максимумами и минимумами непрерывной ИХ и с ее нулями (рис.4). Тем не менее, информативность дискретной ИХ сохраняется, что позволяет с помощью преобразования Фурье получить спектр этой функции, являющийся частотной характеристикой ЦФ в виде $H(e^{j\omega}) = \sum_{k=0}^{K-1} h_k e^{jkT\omega}$.

Этот спектр мало отличается от спектра функции $h(t)$.

Исследуем зависимость ширины переходной зоны АЧХ от длительности ИХ, задаваемой числом отсчетов.

Исследование выполним в программном вычислительном комплексе Mathcad следующим образом. Зададим начальные величины переходной зоны в отношении к частоте среза: $\beta_{нач} = 0.5; 0.4; 0.2; 0.1; 0.05; 0.02; 0.01$. Для каждого $\beta_{нач}$ зададим число отсчетов импульсной характеристики K . По формуле (3) находим и строим вспомогательную функцию $h(t)$. Для каждой вспомогательной $h(t)$ выполним все выше перечисленные действия: сдвиг в сторону запаздывания, дискретизацию, построение АЧХ. Практически все АЧХ имели вид, представленный на рис. 6.

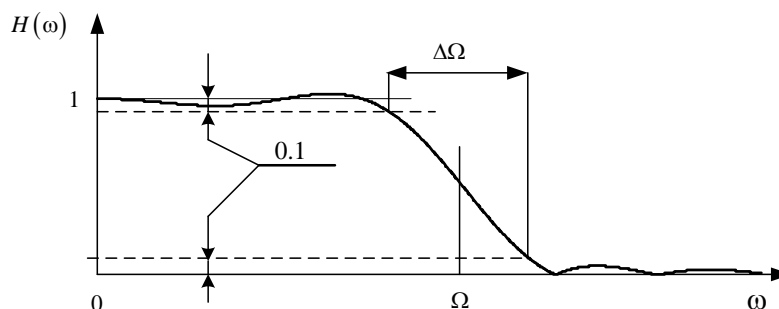


Рис.6. АЧХ ЦФ

По непосредственным замерам были вычислены для каждого эксперимента отношения $\beta = \Delta\Omega/\Omega$ и построены графики зависимостей $\beta(K)$, (рис.7, рис.8.). Первый представляет семейство графиков для $\beta_{нач} = 0.5; 0.4; 0.2; 0.1$; второй – для $\beta_{нач} = 0.1; 0.05; 0.01$. Как видно из графиков, ширина переходной зоны существенно зависит от длительности ИХ в пределах от 0 до 20 – 30 интервалов T . В дальнейшем наблюдается незначительный спад, приближающий ширину зоны к заданной (начальной) величине.

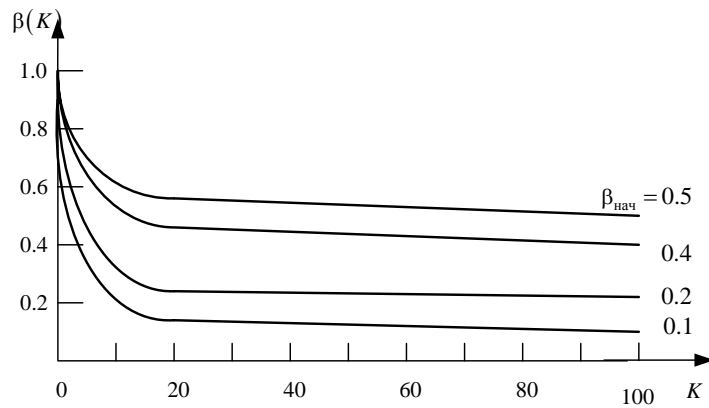


Рис.7. Зависимости переходной зоны от числа отсчетов ИХ

На рисунке 9 пунктиром показана зависимость ширины переходной зоны от числа отсчетов импульсной характеристики для ЦФ, проектируемого по АЧХ прямоугольной формы [3]. Сплошными линиями показаны такие же зависимости для ЦФ, синтезируемого по предлагаемому методу: верхний график при начальном задании $\beta = 0.01$, нижний – при $\beta = 0.001$.

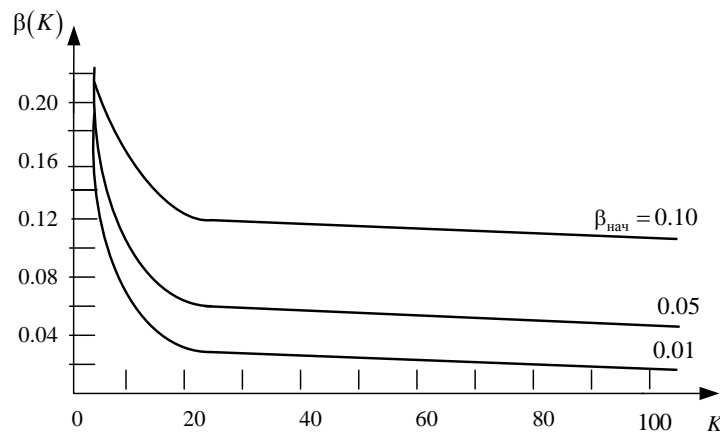


Рис. 8. Зависимости переходной зоны от числа отсчетов ИХ

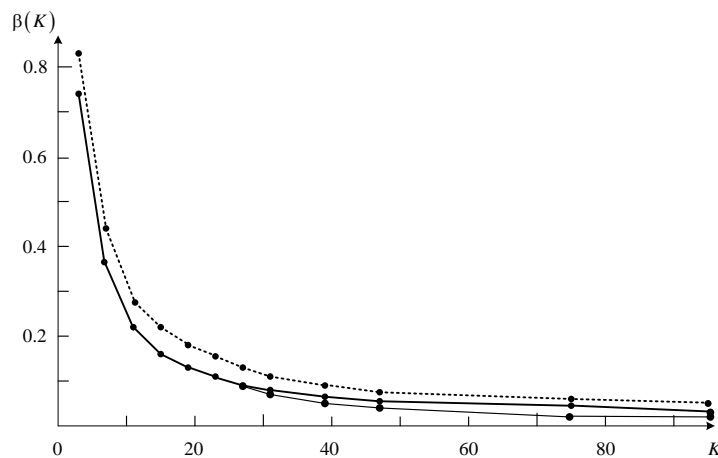


Рис. 9. Графики зависимости.

Последние два графика мало отличаются один от другого для $K \leq 30$, при $K \geq 30$ различие заметно. Так как эти графики расположены ниже графика, показанного пунктиром, то, очевидно, при $\beta \leq 0.05$ (5%) предпочтительнее пользоваться предлагаемым методом.

Данный метод позволяет при одинаковом задании ширины переходной зоны уменьшить число отсчетов импульсной характеристики по сравнению с описанным в [3]. При значениях $\beta \geq 0.05$ предпочтение следует отдавать другим известным методам.

Литература

1. В.В. Сюезв. Цифровая обработка сигналов: методы и алгоритмы. Часть III. Методы расчета частотных и полиномиальных фильтров: учеб. Пособие/ – М.: Изд-Во НИИ РЛ МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2012. – 98С.
2. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.: ил.
3. Н.В.Татьянич, А.В.Максимов. Исследование зависимости переходной зоны частотной характеристики цифрового фильтра от числа отсчетов импульсной характеристики: Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, –25 - 27 ноября 2014 г. Е.4. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014. – 292 с.

Максимов Александр Викторович — канд. техн. наук, доцент кафедры "Компьютерные системы и сети" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: av.maximov.eiu2@yandex.ru.

Татьянич Николай Васильевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: olga.tatyanich@mail.ru.

А.В. Кузьминский, А.М. Донецков

СРАВНЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АССЕМБЛЕРНЫХ ВСТАВОК В КОМПИЛИРУЕМЫХ ЯЗЫКАХ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Зачастую, при разработке программ на высокоуровневых языках, программисту приходится сталкиваться с необходимостью обратиться к операционной системе или непосредственно “железу” напрямую, в обход ограничений, которые накладывает на его код компилятор/транслятор. Такая потребность может возникнуть по множеству причин; среди самых распространённых можно указать:

а. Стремление к *оптимизации* программы в определённый момент её выполнения. В таких случаях, когда вопрос производительности особенно критичен, бывает важно запрограммировать некоторые операции “как есть”, не полагаясь на оптимизирующие возможности конкретного компилятора.

б. Необходимость получения доступа к *специфичным инструкциям* конкретного процессора, которые не используются компилятором при генерации машинного кода. К таким можно отнести инструкции по реализации различных видов синхронизаций и блокировок. В настоящее время актуальность этого вопроса обусловлена большим упором на многозадачность в вычислительных системах.

с. Необходимость совершения низкоуровневых *системных вызовов*.

Самое очевидное (и поверхностное) решение всех вышеуказанных проблем заключается в использовании т. н. “ассемблерных вставок”. Принцип их действия достаточно прост: компилятор во время кодогенерации переводит последовательность инструкций на языке высокого уровня в машинно-зависимое представление; ассемблерные вставки занимают указанное расположение в выходном коде, не подвергаясь никакой дополнительной обработке.

Компиляторы различных языков высокого уровня, как правило, обладают различными инструментами, с помощью которых можно сконструировать ассемблерные вставки. Как правило, их синтаксис соответствует общей философии конкретного языка. В качестве сравнения и иллюстрации к тому, насколько изменилось отношение к ассемблерным вставкам со стороны разработчиков компиляторов, можно привести примеры двух языков, появившихся примерно с двадцатилетним промежутком, а именно: C++ и Rust.

C++-подход. Реализация ассемблерных вставок на C++, согласно Стандарту, идентична оной в языке C. Синтаксически это выглядит следующим образом:

```
asm (“инструкции”);
```

Конкретные особенности (синтаксис ассемблера и непосредственно вставки) могут варьироваться (ввиду широкой распространённости языка и, следовательно, существования большого количества компиляторов). Так, для компилятора Visual C++ характерно ключевое слово `__asm` [3], а блок вставки на языке MASM должен быть заключён в фигурные скобки вместо круглых; кавычки строкового литерала также опускаются. GCC (GNU C Compiler), напротив, сохраняет стандартные особенности, однако позволяет использовать т. н. *расширенные ассемблерные вставки* [2]:

```
asm (“инструкции” : выходные_параметры : входные_параметры :  
затираемое);
```

Здесь допускается указание конкретных входных и выходных параметров (в ассемблерном коде они должны начинаться с `%0`), а также *список затираемого*— последовательность регистров, значения которых по завершении работы кода из вставки не должны быть изменены.

Rust-подход.

Поскольку разработчики компилятора Rust делают очень большой упор на безопасность и надёжность программ, ассемблерным вставкам (как неперемennomу атрибуту любого системного языка) уделяется серьёзное внимание.

Синтаксически ассемблерные вставки в Rust не сильно отличаются от расширенных вставок для GCC и Clang:

```
asm!(“инструкции” : входные_параметры : выходные_параметры :  
затираемое : опции);
```

Причём в данном случае обязательной является только первая секция, содержащая непосредственные ассемблерные команды. Выражение `asm!` является встроенным макросом Rust. [1]

По умолчанию ассемблер Rust предполагает использование AT&T-синтаксиса команд, однако, имеется возможность переключения на синтаксис Intel с помощью *опции* `intel`. Помимо неё, разрешены следующие опции:

- `volatile`— аналогично одноимённой опции в GCC, отключает все оптимизации компилятора, которые он может применить к ассемблерному коду во вставке (например, полное её удаление из кода там, где необходимость в ней не очевидна);
- `alignstack`— указывает компилятору, что необходимо выполнить выравнивание стека; может потребоваться для некоторых команд.

Любое использование ассемблерной вставки в Rust считается небезопасным, поэтому весь блок, в котором встречается вставка, должен быть

отмечен атрибутом `#![feature(asm)]`, а сама вставка – помещена в специальный блок `unsafe { }`. Это соответствует философии Rust, согласно которой, компилятор должен иметь возможность “перехватить” как можно больше ошибок, не допуская нерабочий код до выполнения; любой небезопасный код должен быть предварительно помещён в блок `unsafe { }` и не облагается никакими гарантиями по работоспособности.

Подводя итог вышесказанному, можно отметить несомненное развитие в категории ассемблерных вставок – как синтаксическое (на уровне конкретных реализаций), так и семантическое. Если стандартные C/C++-ассемблерные вставки достаточно примитивны и функционально развиваются исключительно за счёт сообщества, то Rust, как один из наиболее новых системных языков программирования, активно принимает все опытные наработки прошлых лет (чему способствует прямое связывание с ассемблером LLVM – Low Level Virtual Machine, – который используется компилятором Rust в качестве back-end). Это означает только то, что с течением времени актуальность такого инструмента как ассемблерная вставка несколько не снизилась – но, быть может, только возросла.

Список использованных источников:

1. Встроенный ассемблерный код | Язык программирования Rust. URL: https://kgv.gitbooks.io/rust_book_ru/content/src/inline-assembly.html (дата обращения: 04.11.2015).
2. Extended inline Assembly in GCC – CodeProject. URL: <http://www.codeproject.com/Articles/5318/Extended-Inline-Assembly-in-GCC> (дата обращения: 03.11.2015).
3. Inline Assembler Overview – MSDN. URL: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/5f7adz6y.aspx> (дата обращения: 03.11.2015).

Кузьминский Алексей Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alexqzminsky@gmail.com.

Донецков Анатолий Михайлович – ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dam@kaluga.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 14.

ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ 3

Витчук Н.А., Кийко П.П., Матвеев С.А.

Анализ дефектов и отказов башенных кранов с использованием статистических методов управления качеством 4

Заярный С.Л., Натальчук С.В.

Выбор оптимальных схем конструкции легкой крановой системы 7

Сероштан В.И., Глазунов Д.М.

Диагностические параметры технического состояния лифтов 11

Витчук П.В., Подгорбунский В.А., Фарафонтова К.А.

К вопросу о расчете ограничителя скорости с инерционным роликом 15

Ермоленко В.А., Степанцов М.А.

Конструирование механизма подъема стрелы и груза 20

Ермоленко В.А., Болтнева А.С.

Конструирование цилиндрической секции для присоединения угловой крановой буксы 25

Раевский В.А., Леонтьев М.Ю., Смоловик А.Е.

Об одном зубчатом зацеплении, альтернативном эвольвентному 29

Витчук П.В., Кейль Д.Ю., Кийко П.П., Матвеев С.А.

Обеспечение работоспособности кранов, работающих в агрессивной среде 33

Гаах Т.В., Лесовский И.О., Сысоев Д.А.

Обзор исследований динамических процессов при наезде кранов на тупиковые упоры 38

Витчук П.В., Федоров А.В.

Обоснование применения ЭВМ в диагностировании лифтов 43

Сибилев Н.П., Сережин С.А.

Повышение несущей способности соединений деталей с натягом 46

Витчук П.В., Кийко П.П., Матвеев С.А.

Повышение производительности и энергетической эффективности транспортирующих систем (на примере цеха по производству глинопорошков) 48

Шубин А.А., Борискина Н.М., Федоров А.В.

Повышение эффективности работ при ремонте железнодорожного пути 53

<i>Раевский В.А., Матвеев С.А., Кийко П.П.</i> Повышенный травматизм на производстве при использовании мостовых кранов с управлением с пола.....	57
<i>Мокин Д.Г., Кийко П.П., Матвеев С.А.</i> Практическая реализация отработки навыков по локализации дефектов методом акустической эмиссии	61
<i>Витчук П.В., Рыжов К.С.</i> Применимость механизированных парковок в малоэтажных многоквартирных и частных жилых домах	65
<i>Ермоленко В.А., Болтнева А.С., Артемьев А.В.</i> Проектирование механизма передвижения тележки для экспериментального стенда.....	70
<i>Заярный С.Л., Фомин А.А.</i> Расчет соединения деталей с учетом податливости эквивалентного контактного слоя	75
<i>Заярный С.Л., Лесовский И.О.</i> Стенд для исследования долговечности соединений элементов привода при квазистохастическом нагружении.....	79
<i>Заярный С.Л., Сысоев Д.А.</i> Стенд для исследования механических свойств эквивалентного контактного слоя в соединениях элементов привода и металлической конструкции	82
СЕКЦИЯ 15. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	86
<i>Зубков Д.В., Гордеев А.С.</i> Адсорбционная способность углей в солянокислых растворах карбонилхлорида палладия(I)	87
<i>Горбунов А.К., Космынина О.К.</i> Анализ систем с переспросом.....	89
<i>Горбунов А.К., Кузнецова А.А.</i> Вероятность ошибки для дискретных каналов	91
<i>Радченко И.Н., Кутовой И.С.</i> Возможности легирования мультикристаллического кремния.....	93
<i>Горбунов А.К., Байманов Р.Р.</i> Восстановление работоспособности систем связи.....	96
<i>Горбунов А.К., Коваленко Е.А.</i> Выделение сигнала на фоне случайной совокупности ложных сигналов ..	99

<i>Горбунов А.К., Волкова В.С.</i> Живучесть сетей связи.....	102
<i>Горбунов А.К., Кашицын К.Д.</i> Избыточность множества проверок	106
<i>Горбунов А.К., Коваленко Е.А.</i> Измерение сигнала с помощью гомодинного приема.....	109
<i>Горбунов А.К., Байманов Р.Р.</i> Использование избыточности для определения состояния сетей связи.....	112
<i>Горбунов А.К., Бережанский И.Р., Амеличев Г.Э.</i> Использование избыточности для повышения живучести информационных систем.....	115
<i>Горбунов А.К., Алещенко А.Д.</i> К задаче последовательного оценивания.....	119
<i>Прокофьев М.Л., Горбунов А.К.</i> Кодирование в каналах с зашумленной обратной связью	122
<i>Горбунов А.К., Артамонов А.А.</i> Контролируемая система вероятностного моделирования	126
<i>Радченко И.Н., Маслов Е.В.</i> Коэффициенты распределения кислорода и углерода в реальных процессах роста мультикристаллического кремния.....	128
<i>Бережанский И.Р., Горбунов А.К.</i> Метрические свойства, априорное доопределение и минимизация обучаемых конечных автоматов	131
<i>Бережанский И.Р., Горбунов А.К., Зорина П.А., Цаплина С.Ф.</i> Моделирование сжатия данных	135
<i>Кирюхина Н.В., Овчаренко И.Н., Воробьева Т.В.</i> Моделирование теплоотдачи с поверхности цилиндрической трубы в условиях свободной конвекции в учебно-исследовательском эксперименте.....	140
<i>Горбунов А.К., Коваленко Е.А., Амеличев Г.Э.</i> Надежность вычислительных систем	144
<i>Китаева Т.С.</i> Нахождение оптимального режима закачки нерастворителя расчетным путем	148
<i>Безбах И.Ж., Стрелов В.И., Захаров Б.Г.</i> Новая научная аппаратура “Кристалл” для кристаллизации белков в условиях микрогравитации и ее апробация на космическом аппарате “Фотон-М” № 4	153

<i>Шкилев В.Д., Беккель Л.С.</i> Новый подход к классификации двигателей.....	157
<i>Горбунов А.К., Куликов А.Н., Овчаренко И.Н., Чухраева А.И.</i> О волнах концентрации нейтральной примеси в осесимметричном фильтрационном потоке	162
<i>Горбунов А.К., Коваленко Е.А., Цаплина С.Ф., Зорина П.А.</i> О процедурах оптимизации.....	165
<i>Горбунов А.К., Байманов Р.Р.</i> О теории квазиизмерений.....	169
<i>Бережанский И.Р., Горбунов А.К.</i> Обнаружение сигналов на фоне помех	172
<i>Хатамова К.А., Горбунов А.К.</i> Обнаружение сигналов при наличии шума с независимыми значениями.....	176
<i>Силаева Н.А., Петросян О.П., Кулюкина А.О., Чухраева А.И.</i> Обоснование выбора реагента для обеззараживания питьевой воды.....	179
<i>Петросян О.П., Силаева Н.А., Кулюкина А.О.</i> Определение приоритетов при выборе реагентов для обеззараживания питьевой воды	183
<i>Горбунов А.К., Волчёнков Д.Н., Чухраева А.И.</i> Основные параметры физических сигналов.....	188
<i>Хатамова К.А., Горбунов А.К.</i> Оценка верности передачи информации	191
<i>Прокофьев М.Л., Горбунов А.К.</i> Передача информации с управляемой производительностью	194
<i>Горбунов А.К., Упоров Е.И.</i> Передача нетерпеливых пакетов в системе со случайным множественным доступом.....	197
<i>Горбунов А.К., Артамонов А.А.</i> Построение сети связи управляющей вычислительной машины с технологическим объектом	200
<i>Беккель Л.С., Шкилев В.Д.</i> Принцип Паули и возможности его применения в макромире.....	203
<i>Горбунов А.К., Клочкова М.И., Амеличев Г.Э.</i> Проблемы избыточности в системах цифровой коммутации	207
<i>Безбах И.Ж., Захаров Б.Г., Стрелов В.И.</i> Развитие метода выращивания биокристаллов с активным управлением процессом кристаллизации	210

<i>Горбунов А.К., Космынина О.К.</i>	
Распознавание образов по наблюдению сигналов.....	214
<i>Горбунов А.К., Калманович В.В., Гладышев Ю.А.</i>	
Расчёт стационарной задачи теплопроводности в многослойной пластине при наличии распределённых источников.....	216
<i>Горбунов А.К., Бережанский И.Р.</i>	
Сглаживание зашумленных изображений.....	221
<i>Горбунов А.К., Волчёнков Д.Н., Чухраева А.И.</i>	
Сети связи с предоставлением ресурсов по требованиям.....	224
<i>Горбунов А.К., Кузнецова А.А.</i>	
Сигнал на фоне гауссовского белого шума.....	227
<i>Горбунов А.К., Кузнецова А.А.</i>	
Системы с обратной связью.....	229
<i>Горбунов А.К., Клочкова М.И., Амеличев Г.Э.</i>	
Структурная избыточность и вероятность доставки информации.....	231
<i>Коваленко Е.А., Горбунов А.К.</i>	
Уменьшение избыточности линейных задач оптимизации в АСУТП.....	234
<i>Горбунов А.К., Артамонов А.А.</i>	
Управляемые измерения.....	237
<i>Горбунов А.К., Лысенко А.Л., Китаева Т.С., Лысенко Л.В.</i>	
Физико-математические подходы к инновационной экономике.....	239
<i>Китаева Т.С.</i>	
Физико - химические основы процесса растворения солей.....	243
<i>Горбунов А.К., Потапова А.Н.</i>	
Хранение информации в памяти, работающей с ошибками.....	246
<i>Кирюхина Н.В., Карпушин А.Г., Сережкин Л.Н.</i>	
Экспериментальное исследование макета устройства абсорбции углекислого газа из парогазовой смеси.....	249
СЕКЦИЯ 16.	
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ И СИСТЕМЫ; ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.....	254
<i>Перевезенцев П.А., Шершнев К.В.</i>	
Сравнение производительности языка ассемблера и С++.....	255
<i>Жукова И.В.</i>	
Анализ способов обмена данными web-сайтов с программой 1С.....	260
<i>Донецков А.М., Прохоров В.А., Шмелев В.В.</i>	
Достоинства и недостатки языков программирования микроконтроллеров для реализации проекта «УМНЫЙ ДОМ».....	262

<i>Онуфриева Т.А., Зайцева А.А.</i> Маршрутизация в сетях IP-телефонии.....	264
<i>Гришин И.Д.</i> Обзор протокола взаимодействия устройства Б9М2-3 с ЭВМ	268
<i>Щавелев Л.А., Борсук Н.А.</i> Обзор систем управлением контентом. Сравнение и анализ	270
<i>Воейкова Л.А., Борсук Н.А.</i> Обзор системы управления сайтом Vitrix.....	272
<i>Погорелов Н.К., Донецков А.М.</i> Оптимизация программ на языке ассемблера	275
<i>Жукова И.В., Чухраев И.В.</i> Особенности разработки баз данных для промышленных предприятий.....	277
<i>Родионов А.В., Леченкова А.И.</i> Оценка релевантности веб-страниц в поисковых сервисах.....	282
<i>Лавренков Ю.Н., Комарцова Л.Г.</i> Применение каскадно-корреляционных нейронных сетей для построения реконфигурируемых нейросетевых экспертов	286
<i>Крысин И.А.</i> Разработка интернет сервиса по созданию электронного библиотечного тифлотехнического каталога для библиотек	291
<i>Родионов А.В., Панюков А.С., Големинов А.А.</i> Разработка программного комплекса по управлению обновлениями программного обеспечения	294
<i>Сенокосов П.И., Борсук Н.А.</i> Разработка сайта для магазина продажи цветов	298
<i>Львов Н.С., Смирнов В.С.</i> Разработка системы мониторинга малой ЛВС.....	300
<i>Максимов А.В., Климанова Е.В.</i> Решение трехмерной задачи триангуляции в кватернионном базисе	305
<i>Максимов А.В., Татьянач Н.В.</i> Синтез цифровых фильтров по заданной переходной зоне АЧХ	309
<i>Кузьминский А.В., Донецков А.М.</i> Сравнение применения ассемблерных вставок в компилируемых языках программирования высокого уровня	315
СОДЕРЖАНИЕ	318

**НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ
И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ**

**Материалы
Всероссийской научно-технической конференции**

Том 4

Научное издание

Все работы публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений

Подписано в печать 11.11.2015.

Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печ. л. 20,25. Усл. п. л. 18,83. Тираж 50 экз. Заказ №166

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Оригинал-макет подготовлен и отпечатан в Редакционно-издательском отделе
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87