



НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции

Санкт-Петербург, 15 мая 2024 г.

УДК 082 : 001.8
ББК 94.3
Н34

ISSN 2618-7493

Научный потенциал молодежи и технический прогресс: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2024. – 102 с. – DOI: 10.26160/2618-7493-2024-7.

Оргкомитет:

Балакина Екатерина Викторовна – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград;

Баубеков Сабит Джумабаевич – д.т.н., профессор, начальник научного отдела, Таразский инновационно-гуманитарный университет, г. Тараз, Казахстан;

Жуков Иван Алексеевич – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург;

Кугаевский Сергей Семенович – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты», Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Шигин Андрей Олегович – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Горные машины и комплексы», Сибирский федеральный университет, г. Красноярск.

Формат издания 60х84/8. Усл. печ. л. 5,93.
Подписан в печать 15.05.24г. Заказ №24-11.
<https://doi.org/10.26160/2618-7493-2024-7>

Учредитель, издатель и распространитель: Жукова Елена Валерьевна
(ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778, г. Санкт-Петербург).

Ответственный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

Редакция: Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»,
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.

<http://srcms.ru/>

E-mail: spbf@srcms.ru

**Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»
(НИЦ МС)**

представляет сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции

«НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС»

ISSN 2618-7493

К публикации принимаются доклады, тезисы, обзоры и краткие сообщения по результатам учебных и научных работ студентов, аспирантов, молодых ученых, их коллег и руководителей. Сборник трудов размещается в полнотекстовом режиме на сайте Научной электронной библиотеки: <http://elibrary.ru>. Все материалы проходят проверку на антиплагиат и «слепое» рецензирование.

Секции конференции:

1. Архитектура, техника и технологии строительства
2. Аэронавигация, авиационная и ракетно-космическая техника
3. Компьютерные и информационные науки, информатика и вычислительная техника
4. Математика и механика
5. Машиностроение
6. Науки о земле, прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия
7. Приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии
8. Сельское, лесное и рыбное хозяйство
9. Техника и технологии наземного транспорта
10. Технологии легкой промышленности
11. Технологии материалов, нанотехнологии и материалы
12. Техносферная безопасность и природообустройство
13. Управление в технических системах
14. Физика и астрономия
15. Физико-технические науки и технологии
16. Химия и химические технологии
17. Электро- и теплоэнергетика
18. Электроника, радиотехника и системы связи

Требования к оформлению:

Материалы необходимо подготовить с применением редактора MS Word (doc, docx). Минимальный объем: 3 страницы. Формат страницы: А4. Ориентация: книжная. Поля: со всех сторон – 2,5см. Шрифт: Times New Roman. Кегль: размер основного кегля – 14, абзац – 1,25см, межстрочный интервал – одинарный. Расстановка переносов не допускается. В текст статьи включаются ключевые слова и аннотация (размер шрифта 12). Формулы: набираются с использованием встроенного редактора формул со стандартными размерами по умолчанию: основной – 12, крупный индекс – 7, мелкий индекс – 5, крупный символ – 18, мелкий символ – 12. Максимальный размер рисунка по ширине – 11см. Список литературы должен содержать минимум 3 источника. В конце приводятся сведения об авторах.

Для рассмотрения вопроса опубликования необходимо отправить в адрес редакции по электронной почте текст доклада (на русском языке) и заявку на участие в конференции.

Подробнее об издании на сайте: <http://srcms.ru/npmity.html>

СОДЕРЖАНИЕ

Архитектура, техника и технологии строительства

Петухова И.П., Беляева З.В. Современные технологии в строительстве.....	5
Гришина О.И. Проблема доступности зданий в сельской местности для людей, использующих кресло-коляску (на примере села Хову-Аксы)	8

Компьютерные и информационные науки, информатика и вычислительная техника

Викулов Е.О. Имитационные исследования влияния параметров состояния серверов на стоимостные и временные характеристики работы серверного комплекса	12
Сагайдак Д.А. Оптимизация передачи данных при реализации схем разделения секрета	16
Самольянов К.В. Цифровизация процесса контроля за расходом материально-технических ресурсов на компрессорных станциях.....	18

Математика и механика

Алгазин С.Д., Сеницын А.А. Постановка задачи о флаттере ортотропной конической оболочки.....	20
--	----

Машиностроение

Исаченко А.С., Хангоров В.Д., Катков М.В., Касимов Р.Т., Скворцов Е.С., Угринович Е.Д. Предварительная оценка машинного времени без управляющей программы обработки на основе исторических производственных данных	26
Сизо А.А., Литвинов А.Е. Зависимость магнитных сил от расстояния между магнитами.....	28
Сизо А.А., Литвинов А.Е. Разработка нового типа конструкции магнитного виброгасителя для отрезных станков	30
Сладкова Л.А., Хоцеловский С.Е. Комплектование парка строительных и дорожных машин в подразделениях МЧС России	32
Сизо А.А., Литвинов А.Е. Изучение влияния магнитных полей постоянных магнитов друг на друга, на предметы в различных точках соприкосновения	36
Кривошеев Н.С., Жарковский А.А., Броднев П.Н. Постановка задачи разработки технического решения и обоснования параметров пневмогидравлического привода	39

Науки о земле, прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия

Филатова А.А., Самарина О.А. Проблема загрязнения сточных вод нефтью и нефтепродуктами и пути ее решения на примере НПС «Муханово»	42
Замалиева А.М., Тупицына О.В. Применение отходов нефтегазовой отрасли с получением вторичных материальных ресурсов	44
Фадеев Д.В., Тупицына О.В. Структурированная система мониторинга инженерных систем установки производства азота АО «КНПЗ»	46
Лушников Н.Н. Критерии подбора скважин-кандидатов для проведения гидроразрыва пласта на месторождениях Удмуртской республики.....	48

Хардин И.С., Колодежная Е.В., Горлова О.Е. Компакты на основе продуктов переработки техногенного сырья и золы мусоросжигательных установок	55
--	----

Техника и технологии наземного транспорта

Горячкин А.А., Ратцев Я.А. Исследование силовых воздействий на подвеску легкового автомобиля при повороте	58
---	----

Технологии материалов, нанотехнологии и материалы

Карасёв Ю.А., Марков В.А., Гаузе А.А. Серпентинит, как минеральная альтернатива синтетическим присадкам	63
Шишкин Д.О., Петров П.А. Исследование влияния трения на течение металла при обжиге несимметричного перехода	65
Степанов К.П., Степанов В.В. Исследование возможности изготовления плакированных листов из алюминиевых сплавов повышенной прочности для теплообменной аппаратуры	68
Биджев А.Г., Голиус Д.А., Маторин А.А., Виниченко В.О., Соколов Е.Г. Получение наноструктурного композиционного материала на основе карбида вольфрама методом инфильтрации	70
Магда А.В., Марченко В.Д., Соколов Е.Г. Структура и твердость спеченных материалов Fe-Cr-Cu-Sn	72
Рудский Д.И., Вербенко И.А., Белокобыльский М.В., Галатова А.О., Царик М.А., Лебединская А.Р., Рудская А.Г. Определение валентного состояния ионов марганца в нестехиометрическом манганите лантана.....	75

Техносферная безопасность и природообустройство

Кузьмин О.С., Куликова Е.С. К вопросу об источниках загрязняющего воздействия нефтепродуктов при их перевозке железнодорожным транспортом	78
Чертес К.Л., Сеянко А.П. Открытые и закрытые методы очистки грунтов зоны аэрации от органических загрязнений	81
Гончарук М.А., Волкова Е.И. Мониторинг воздействия шума на рабочего при бурении эксплуатационных скважин куста № 3 на Черпаюском месторождении.....	84
Гончарук М.А., Волкова Е.И. Оценка экологических рисков при влиянии нефтесодержащих отходов	87

Управление в технических системах

Азимов Х.Х. Математическое описание нагрузок в непосредственных электроприводах	89
Ракипов Р.Ф., Иксанов И.Х. Автоматизированное опробование кранов линейной части магистральных газопроводов и алгоритмов газораспределительных станций	92
Бодров А.А. Анализ эффективности реакторной системы синтеза этаноламинов	95

Электроника, радиотехника и системы связи

Меделянова А.В. Анализ статистики состояния коммутаторов на сети передачи данных	99
--	----

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ***Петухова И.П., Беляева З.В.****Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург*

Ключевые слова: современные технологии, информационное моделирование, искусственный интеллект, строительство, «Умный дом», программы, беспилотники, робособаки.

Аннотации. В работе представлен обзор литературы по теме современных технологий в строительстве. Описана актуальность данной темы на всех этапах строительства. Приведены отечественные и мировые тенденции технологий в сфере строительства: внедрение искусственного интеллекта, робособаки, использование беспилотников, роботизирование трудоемких процессов, информационное моделирование городов.

MODERN TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION***Petukhova I.P., Belyaeva Z.V.****Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg*

Keywords: modern technologies, information modeling, artificial intelligence, construction, Smart Home, programs, drones, robotic dogs.

Abstract. The paper presents a review of the literature on the topic of modern technologies in construction. The relevance of this topic at all stages of construction is described. Domestic and global technology trends in the construction sector are presented: the introduction of artificial intelligence, robotic dogs, the use of drones, robotization of labor-intensive processes, information modeling of cities.

Современные технологии повлияли на развитие строительства. Они оптимизируют работу проектировщиков, совершенствуют логистику поставок материалов, проводят обследование зданий с помощью высокоточных приборов и дронов, улучшают качество жизни людей на этапе эксплуатации здания, создавая безопасность и комфорт на всем жизненном цикле здания.

На начальном этапе используются современные топографические приборы: приборы для съемки с БПЛА, лазерные дальномеры и уровни, цифровые и лазерные нивелиры и т.д., с их помощью осуществляется более точное обследование территории и качественное проведение инженерно-геологических изысканий.

Используются программные комплексы, которые включают в себя нормативы и стандарты, применяемые в РФ, с их помощью проектировщики разрабатывают конструктивные решения, создают чертежи.

Расчетные комплексы САПР, ЛИРА Софт, SCAD Office позволяют на основе базовых знаний создавать расчетные схемы, для определения нагрузок и усилий, а также производят подбор сечений.

Компании, специализирующиеся на металлических конструкциях, применяют моделирующие программы [1]: Tekla Structures, Autodesk Revit, Компас 3D, Renga Software и т.д. Например, Работа в программе Tekla Structures предусматривает детальное выполнение узлов, автоматический вывод спецификаций, удобный подсчет тоннажа, проверка на коллизии. На основе конструктивных решений, проводится анализ и делается вывод о типовых соединениях конструкций, о часто используемых материалах и профилях. После анализа происходит работа по созданию компонентов, которые будут применяться в соответствии с нормами и критериями строительства.

На этапе строительства проводится авторский надзор, который осуществляется с использованием дронов, а также осуществляется контроль качества строительных материалов с помощью искусственного интеллекта (ИИ), который проводится в лабораторных условиях.

Современные технологии приводят к более экономичному, экологичному и безопасному использованию зданий, названия которых «Умный дом» [2]. В процессе строительства такого дома устанавливают датчики температурные, акустические, датчики движения, влажности уровня давления в системе, которые передают свои значения управляющему устройству, и благодаря ИИ делается анализ полученных данных. Тем самым такие технологии помогают предотвращать протечки воды, пожаров, утечки газа, а также контролировать показатели температур, влажности и освещенности в помещениях.

Обзор литературы

В настоящее время тема современных технологий незаконченная, она дополняется и совершенствуется с каждым годом. Научные исследования в области ИИ в данный момент одна из самых актуальных тем [3]. Внедрение ИИ закреплено Указом Президента РФ от 10 октября 2019 г. N 490 "О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации". Сфера строительства не стала исключением, например, ИИ помогал в обеспечении безопасности самого высокого небоскреба России и Европы – Лахта Центра. Система безопасности на основе платформы «Интеллект» включает в себя тысячи видеокamer и анализирует поведение людей, что позволяет контролировать обстановку на

объекте и анализировать произошедшие события. В Москве ИИ используют в качестве «умного дома» в жилых комплексах (ЖК) «Аквилон Park», «Лица» от Capital Group, «Аккорд. Smart-квартал» и т.д. В других регионах России эта система только начинает внедряться, например, ЖК «Булычёв» в Кирове, ЖК «Домашний» в Тюмени, ЖК «ЛесART» в Санкт-Петербурге и другие. В таких жилых комплексах, оснащенных системой «умный дом», интеллектуальная система отвечает за отопление, электроснабжение, защиту от протечек воды, автоматическое снятие показаний счётчиков, контроль качества воздуха в квартирах и работу видеонаблюдения.

Российская компания «Самолет» применяет ИИ в предиктивной аналитике хода строительно-монтажных работ на базе искусственного интеллекта – S. Monitoring. Суть аналитики в сборе данных о выполненном объеме работ в режиме онлайн, проверке и мониторинге количества рабочих и отработанного ими времени в соотношении с нормами выработки, а также сравнение текущего хода строительства с установленными сроками. При отклонении показателей система уведомляет пользователей об этом. Использование данной аналитики с ИИ фиксирует увеличение производительности труда и сокращение сроков строительства за счёт уменьшения числа простоев на стройплощадке.

Ещё один отечественный продукт на рынке – робособаки [8]. Они трудятся на службе Государственной инспекции по контролю за использованием объектов недвижимости города Москвы. Робопсы ZLogic Group контролируют качество строительства, проверяют соответствие недвижимости исходному проекту и следят за соблюдением техники безопасности.

Рассматривая международные примеры, можно выделить жилой трехэтажный дом в Швейцарии [6] DFAB (Digital Fabrication and Living – цифровое изготовление и проживание), построенный с помощью роботов и 3D-принтеров, а также из переработанных и готовых к повторному использованию материалов. Тонкий бетонный потолок дома был отлит в напечатанной на 3D-принтере опалубке, а изогнутая бетонная стена создавалась строительным роботом.

Швейцарская компания Türami применяет беспилотники в качестве точной и быстрой оценки запасов строительных материалов, а ИИ самостоятельно анализирует их [7]. Одним из важных преимуществ является ежедневная и быстрая оценка запасов.

В планах на будущее – строить не 3-х этажные жилые здания, а уникальные сооружения в сложных климатических и природных условиях, как например, строительство дамбы высотой 181 метр на реке Янцзы в Китае [4]. Строительство будет осуществляться роботами под управлением искусственного интеллекта. При строительстве будет использоваться 3D-печать и гигантские роботы. Стройроботы после анализа по количеству необходимого материала будут выгружать наполнитель и выполнять «интеллектуальную укладку и прокатку», превращая материал в слой, напечатанный на 3D-принтере. Весь процесс будет контролироваться системой планирования.

Современные тенденции – это уже не 3D-модели зданий и сооружений, а модели целых городов, которые будут точно проработаны моделирующими программами с использованием ИИ, который будет анализировать все параметры и данные, направляя их в «головной центр». Таким проектом будущего является THE LINE в Саудовской Аравии [5]. Величайшие умы человечества разработали проект города-небоскреба «на боку», высотой 500 метров и шириной 200 метров, протяженностью 170 километров, знаменующий новый прорыв в вертикальном урбанизме. Исполнительный директор Джайлс Пенделтон о своем проекте рассказывает: «Архитекторы-скептики скажут, что такое чудо построить невозможно. Однако здание будет скорее похоже на гигантский набор Lego. Уже на месте конструкция будет собрана с помощью модульных технологий, а перед этим будет заранее создан ее цифровой двойник. Все элементы будут сборными, стандартизированными и полностью готовыми к легкому монтажу и соединению между собой. Например, стены будут поставляться с дюбелями, плитусами и обшивкой. Строительство – вторая по степени опасности отрасль после лесного хозяйства. Поэтому строить на близлежащих заводах и затем монтировать на месте целесообразно по ряду причин. На этом проекте не должно быть допущено ни одного смертельного случая, несмотря на то что заниматься его реализацией будет целая армия из 500 000 человек.»

ИИ будет использоваться в строительстве The Line для создания трёхмерной модели города, анализа данных и прогнозирования возможных проблем и рисков, а также ИИ будет применяться на заводе по созданию модулей.

Вывод: применение технологий привело к тому, что строительная сфера стала более экономичной, производительной и качественной. Тенденции современного строительства говорят о необходимости внедрения ИИ на все этапы строительства для оптимизации процессов. А также для того, чтобы роботизировать трудоемкие и опасные работы, повышая их скорость, качество и безопасность.

Список литературы

1. Мирошкин Н.В. Технический анализ существующих решений в рамках создания IT-системы проектирования работ по благоустройству и строительству // Вестник науки. – 2024. – Т. 3, № 70. – С. 679-682.
2. Масцевая Т.С. Улучшения умного дома: технологические тренды в строительстве // Вестник науки. – 2024. – Т. 2, № 70. – С. 683-687.
3. Шишкина Д.Н. Прогноз экономического эффекта применения ИИ в строительстве: анализ и актуальность // Экономический вектор. – 2024. – Т. 1, №36. – С.163-168.
4. Инженеры из Университета Цинхуа собираются напечатать на 3D-принтере плотину ГЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.techinsider.ru/technologies/news-1553699-kitayskie-inzheneru-sobirayutsya-napechatat-na-3d-printere-plotinu-ges/>
5. The Line: Небоскреб «на боку» и новый уровень вертикального урбанизма [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.neom.com/ru-ru/regions/theline/vertical-urbanism#second-paragraph> .
6. В Швейцарии построили жилой дом с помощью роботов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://realty.rbc.ru/news/5c8fa7c19a7947d3978a3960?from=copy>.
7. Искусственный интеллект на стройке. Мировая практика и Российская перспектива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://digitaldeveloper.ru/blog/tpost/c40czrfm31-iskusstvennii-intellekt-na-stroike-mirov>.
8. Принимать новостройки будут собаки-роботы-Мосдольщик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://мосдольщик.рф/novosti/ne-laet-ne-kusaet-strojki-proverjaet-prinimat-novostrojki-budut-sobaki-roboty/>

Сведения об авторах:

Петухова Ирина Павловна – студентка;

Беляева Зоя Владимировна – к.т.н., заведующая кафедрой строительных конструкций и механики грунтов.

ПРОБЛЕМА ДОСТУПНОСТИ ЗДАНИЙ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ЛЮДЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ КРЕСЛО-КОЛЯСКУ (НА ПРИМЕРЕ СЕЛА ХОВУ-АКСЫ)

Гришина О.И.

Тувинский государственный университет, Кызыл

Ключевые слова: адаптация зданий, доступная среда, люди с ограниченными возможностями, кресло-коляска, пандус, доступность.

Аннотация. В статье рассматривается проблема доступной среды в сельской местности для людей, использующих кресло-коляску для самостоятельного передвижения. Определены основные критерии доступности зданий для колясочников. Приведены наиболее часто встречающиеся нарушения и проблемы в обеспечении доступности зданий для самостоятельного передвижения на кресле-коляске. Рассмотрены и проанализированы проблемы доступности зданий сельской местности на примере села Хову-Аксы.

THE PROBLEM OF ACCESSIBILITY OF BUILDINGS IN RURAL AREAS FOR PEOPLE USING A WHEELCHAIR (USING THE EXAMPLE OF THE VILLAGE OF HOVU-AKSY)

Grishina O.I.

Tuvan State University, Kyzyl

Keywords: adaptation of buildings, accessible environment, people with disabilities, wheelchair, ramp, accessibility.

Abstract. The article deals with the problem of an accessible environment in rural areas for people using a wheelchair for independent movement. The main criteria for accessibility of buildings for wheelchair users have been defined. The most common violations and problems in ensuring the accessibility of buildings for independent movement in a wheelchair are presented. The problems of accessibility of rural buildings are considered and analyzed using the example of the village of Hovu-Aksy.

В настоящее время общество все лояльнее относится к людям с ограниченными возможностями здоровья. Государство также поддерживает программы развития доступной среды для таких людей. Современное строительство обязано осуществляться с учетом требований доступности, так как в строительной проектной документации присутствует обязательный раздел 10 «Мероприятия по обеспечению доступа инвалидов». В нем учитывается как прилегающая территория здания и возможность перемещения в нем. Если новое строительство отвечает большинству требований доступности, то конструктив давно построенных зданий требует индивидуального подхода возможной адаптации для маломобильных людей.

Но, как показывает опыт по реализации доступной среды в России нельзя назвать успешным. Большой процент зданий для доступности людей на инвалидных колясках выполнен не по стандарту, это касается, как жилого сектора, так и социальных объектов. Даже визуальный осмотр зданий позволяет выяснить, что существуют грубейшие конструктивные нарушения в исполнении доступности зданий для людей с ограниченными возможностями. В крупных городах, например в г. Москва программа доступной среды реализуется лучше, но не решена полностью. В отдалённых от столицы городах присутствует проблема «недоступной среды», говоря о селах практически полностью отвечает.

В направлении развития доступности зданий и сооружений, необходимо уделить особое внимание, в первую очередь доступ к социальным объектам, таким как: образовательные организации, медицинские учреждения, культурного и духовного развития, торговые центры и другие востребованные места посещения маломобильными людьми без ущемления их прав на полноценную жизнь в обществе.

В связи сложившейся ситуации в мире, людей с ограничением возможностей здоровья становится больше, то есть потребность в доступности зданий возрастает по всей стране.

Вместе с тем на основании сравнения законов, стандартов, положений с реалиями выявлено, что по части доступности они выполняются не в полном объёме, если и выполняются, то с грубейшими нарушениями. В связи с этим, выступает потребность рассмотрения данной проблемы в строительстве. Проблема: в Республике Тыва имеющаяся доступная среда для людей с ограниченными возможностями по большей части не соответствует стандартам и не пригодна для их использования, хотя средства и материалы были потрачены. Или проектировщики не дорабатывают, или строители экономят.

К сожалению, в сегодняшней реальности людей даже с сохранным интеллектом, желающих почувствовать в общественной жизни и иметь возможность самостоятельно посещать социально значимые для них объекты, но имеющих опорно-двигательные нарушения, и вынужденные пользоваться креслом-коляской сталкиваются с проблемой недоступности зданий и сооружений.

Согласно действующему СП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» прописано, что проектные решения объектов, доступных для маломобильных граждан, не должны ограничивать условия жизнедеятельности или ущемлять

возможности других групп населения, находящихся в здании или сооружении. К маломобильным группам населения отнесены: инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди старших возрастов, люди с детскими колясками [1].

Наибольшее конструктивное изменение зданий в целях обеспечения условий доступности требует категория маломобильных граждан, передвигающиеся на инвалидных колясках. Именно, для этой группы населения будем рассматривать доступность социальных объектов на примере села Хову-Аксы.

К объектам социальной инфраструктуры относятся здания и сооружения связанные с обеспечением жизнедеятельности и обслуживанием населения, а также земельные участки, принадлежащие учреждениям социальной сферы.

Согласно п. 3.19 СП 136.13330.2012 Здания и сооружения. Объектами социальной инфраструктуры являются здания, сооружения, их комплексы и входящие в их состав помещения многоквартирных домов, принадлежащие учреждениям, связанным с обеспечением жизнедеятельности и обслуживанием населения, а также земельные участки и элементы застройки территорий указанных учреждений [2].

В нашей работе были исследованы такие объекты социальной инфраструктуры:

- здания, принадлежащие социальным службам;
- больницы, поликлиники, медпункты;
- прачечные, парикмахерские, фотоателье;
- кинотеатры, клубы, дома культуры;
- магазины;
- банки;
- гостиница;
- пансионат;
- образовательные учреждения;
- спортивные объекты;
- почтовые отделения.

Предмет исследования: доступность зданий и сооружений для маломобильных граждан (инвалидов, использующих кресло-коляску).

Объект исследования: функционирование доступной среды социальных объектов на примере с. Хову-Аксы.

Для оценки доступности социальных объектов для маломобильных граждан, определено 44 социально значимых объекта в селе Хову-Аксы.

В первую очередь оценивалась безбарьерная среда, как инвалиды на креслах-колясках смогут свободно перемещаться, осуществлять доступ в эти объекты и передвигаться внутри них самостоятельно или с минимальной посторонней помощью.

Определены основные критерии исследования:

- 1) доступная территория, прилегающая к зданию (участок);
- 2) беспрепятственный доступ к входу (двери) в здание;
- 3) безбарьерный путь движения внутри здания.

Беспрепятственный доступ инвалидов к объектам – это такой доступ к любым объектам социальной инфраструктуры, когда инвалид в состоянии самостоятельно или с минимальной посторонней помощью осуществить перемещение до необходимого объекта, вход внутрь и свободное передвижение внутри него (рис. 1).

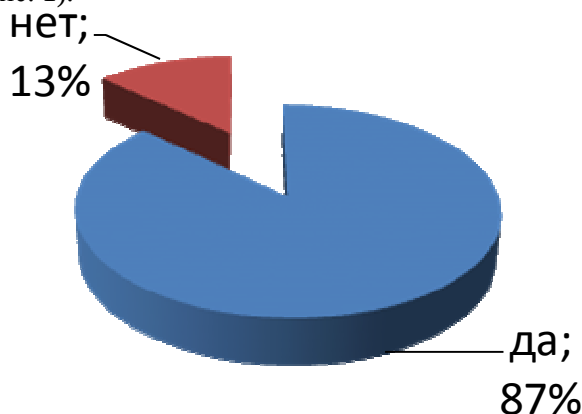


Рис. 1. Доступная территория, прилегающая к зданию

Беспрепятственный доступ к входу (двери) в здание. Безопасность передвижения для маломобильной группы населения контролирует ГОСТ, СНИП и СП 59.13330.2020. Рассчитывают габариты сооружения, исходя из этих правил. Нормативными параметрами служат:

- величина уклона;
- размеры конструкции;
- величина площадки – насколько возможен и удобен проезд в коляске;
- наличие поручней.

Пандус для маломобильных групп, допустимый уклон пандуса – 1:12, рекомендуемый 1:20 и более.

В некоторых случаях допускается нестандартный наклон:

1:12 (8% или 4,8°) – для временных изделий (например, во время реконструкции или ремонта дома) высотой не более 50 см с расстоянием между площадками – не более 600 см;

1:10 (10% или 5,7°) – при высоте конструкции не более 20 см [1].

Из 44 обследуемых нет потребности в пандусе 2 объектов, а из 42 зданий лишь 9 пандусов имеют допустимый уклон и формально соответствуют нормам (рис. 2, 3).

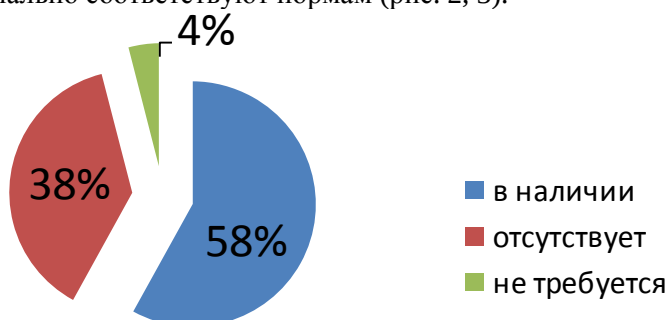


Рис. 2. Беспрепятственный доступ к входу в здание, наличие пандуса

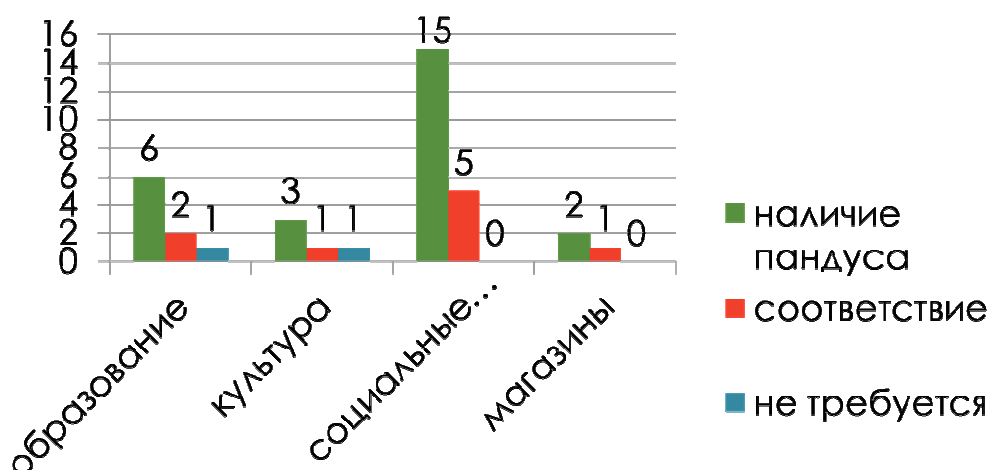


Рис. 3. Беспрепятственный доступ к входу в здание, пандус

Безбарьерный путь движения внутри здания. СП 59.13330.2016 - 6.2.4 Дверные проемы не должны иметь порогов и перепадов высот пола. При необходимости устройства порогов их высота или перепад высот не должны превышать 0,014 м. Для входов с порогам выше 1.4 см для инвалидов на кресле-коляске рекомендовано выполнить мини пандус к порогу. На рисунке 4 по диаграмме отчетливо видно, что данный критерий не соблюден ни в одном исследуемом объекте. В итоге, дальше двери инвалид колясочник не пройдет [1].



Рис. 4. Беспрепятственный доступ к входу (двери) в здание

Большой процент сооружений для доступности выполнен не по стандарту, это касается как жилого сектора, так и социальных объектов. Даже визуальный осмотр зданий и сооружений позволил выявить, что существуют грубейшие конструктивные нарушения в исполнении доступности зданий и сооружений.

При строительстве доступной среды зданий в большинстве случаев строится пандус для маломобильных граждан, этим все ограничивается. И на практике доступность заканчивается на входе в здание или на первом этаже. Высокие пороги более 5 см, порой достигают 15 см, лестницы, выступы и узкие дверные проемы является непреодолимым барьером для инвалидов колясочников.

Наше исследование было посвящено проблемам строительных ошибок и недочетов при проектировании и реконструкции зданий без учета полной доступности для всех людей. Она затрагивает проблемы большого количества людей. Проблема актуальна в наши дни не только в селах, но и городах по всей России.

К сожалению, процент социальных объектов доступных и отвечающим нормам доступной среды с. Хову-Аксы составил:

- полностью доступных – 0%
- частично доступных – 59%
- недоступных – 41%

Из анализа следует, что с сельской местности быть самостоятельным человеком на инвалидной кресле-коляске не сможет, потому как доступные объектов социальной сферы просто нет. Но нормативно правовые документы содержат все необходимое для организации мероприятий по доступности для таких граждан нашей страны. Возможно, проблема недоступности заключается в финансировании и экономии бюджета на строительство и реконструкцию. Ведь если строительство и реконструкцию доступности зданий и сооружений для маломобильных граждан осуществлять строго по проекту, исполненному с учетом стандартов доступной среды, то средства и материалы, потраченные для данных целей, будут оправданы. И маломобильные граждане будут иметь беспрепятственный доступ к социальным объектам.

Самая острая проблема – это ненормативный пандус и ненормативный перепад высот на путях движения. Требуется устранения в обязательном порядке, обустроить соответствующий пандус и пороги в проемах дверей, доступных для МГН, не выше 1,4 см путем замены дверных коробок или с помощью придверных пандусов [3].

Важно отметить, что решение проблемы доступности зданий и адаптация зданий для инвалидов колясочников требует не только строительных работ, но и широкой общественной поддержки и осознание значимости данной проблемы, особенно в связи с событиями в мире сегодня. Власти, организации гражданского общества и частные лица должны объединить свои усилия для создания безбарьерной среды, способствующей полноценному участию маломобильных граждан в жизни общества. Ведь проблема доступности зданий для колясочников является актуальной как в больших городах, например, город Москва, так и в сельской местности по всей стране.

Список литературы

1. СП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://svirsk.ru/wp-content/uploads/2022/05/sp59-13330-2020.pdf?ysclid=lw6rbk1kn1220384005>
2. СП 136.13330.2012 «Здания и сооружения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.srosp.ru/upload/files/doc/SP_136.13330.pdf?ysclid=lw6r994tw431015586
3. Ковалёв В.А., Мирошниченко О.А., Осинская В.Б., Кудря О.С., Штепа А.В., Курганова Я.Д. Доступная среда для инвалидов: современные подходы и решения: методическое пособие / под ред. О.Н. Владимировой. – Санкт-Петербург: СПБИУВЭК, ООО «ЦИАЦАН», – 2022. – 152 с.

Сведения об авторах:

Гришина Ольга Игоревна – студент.

ИМИТАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ СЕРВЕРОВ НА СТОИМОСТНЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ СЕРВЕРНОГО КОМПЛЕКСА

Викулов Е.О.

Омский государственный технический университет, Омск

Ключевые слова: балансировка нагрузки, высоконагруженные клиент-серверные информационные системы, сервер-балансир, анализ данных, нечеткая логика, имитационное моделирование.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы зависимости характеристик работы серверного комплекса от состояния серверов. Приведены параметры состояния серверов, оказывающие влияние на время и стоимость обработки запросов пользователей. Выполняется постановка задачи распределения статических данных по серверам. Разработана имитационная модель, позволяющая определить количество запросов, обслуженных каждым из серверов, а также временные и стоимостные затраты на обработку запросов. Выбор сервера для обработки данных в имитационной модели предложено выполнять на основе параметров состояния серверов с применением нечеткого логического вывода. Приведены результаты имитационных исследований для различных наборов параметров состояния серверов. Показано преимущество применения мультипликативного параметра для выбора сервера по сравнению с использованием исходного набора параметров, которое выражается в уменьшении времени и стоимости обработки запросов пользователей.

SIMULATION OF STUDYING THE INFLUENCE OF SERVER STATE PARAMETERS ON THE COST AND TIME CHARACTERISTICS OF THE SERVER COMPLEX OPERATION

Vikulov E.O.

Omsk State Technical University, Omsk

Keywords: load balancing, high-load client-server information systems, balancer server, data analysis, fuzzy logic, simulation modeling.

Abstract. The article discusses the dependence of the performance characteristics of a server complex on the state of the servers. The server state parameters that affect the time and cost of processing user requests are presented. The problem of distributing static data across servers is being formulated. A simulation model has been developed to determine the number of requests served by each server, as well as the time and cost of processing requests. It is proposed to select a server for data processing in the simulation model based on the state parameters of the servers using fuzzy logical inference. The results of simulation studies for various sets of server state parameters are presented. The advantage of using a multiplicative parameter to select a server compared to using the original set of parameters is shown, which is expressed in reducing the time and cost of processing user requests.

Введение

Актуальность проблемы распределения данных по серверам заключается в необходимости обеспечения высокой производительности, доступности и отказоустойчивости современных информационных систем. Распределение данных позволяет одновременно обрабатывать большие объемы информации, ускорять выполнение запросов, повышать надежность системы за счет распределения нагрузки и обеспечения непрерывности работы при сбоях отдельных компонентов. Это особенно важно для крупных компаний и организаций, обрабатывающих большие объемы данных и требующих высокой скорости обработки запросов от множества пользователей. Задача распределенного хранения статических данных заключается в оптимизации доступа к ним, повышении их доступности и эффективности загрузки серверов, что достигается путём распределения файлов на несколько серверов. Такое распределение (балансировка) [1-4] позволяет снизить нагрузку на каждый отдельный сервер и обеспечить повышение скорости доступа к файлам для пользователей.

Теория

В задачах распределения данных рассматриваются *ценовые, сетевые и вычислительные* параметры, влияющие на распределение данных [4, 5]. К *ценовым* показателям относятся затраты на хранение, доставку и репликацию данных C_{sdr} (ден. ед.). В качестве *сетевых* показателей для распределения нагрузки относится расстояние от клиента до сервера D_s (км) и доступная пропускная способность B_{ch} (Кбит/с) [5, 6]. Кроме того, введем мультипликативный показатель D_b – произведение расстояния от клиента до сервера D_s (км) на доступную пропускную способность B_{ch} (Кбит/с) т.е. $D_b = D_s \cdot B_{ch}$. Тогда параметры состояния сервера запишем в виде:

$$X^{li} = (x_1^{li}, \dots, x_j^{li}, \dots, x_m^{li}), l = \overline{1, q}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \text{ где } q - \text{ количество запросов пользователя, } n -$$

количество серверных станций, m – количество параметров. Таким образом, при использовании трех параметров в качестве исходных данных о серверах вектор X примет вид:

$$X^{li} = (x_1^{li}, x_2^{li}, x_3^{li}) = (D_s^{li}, B_{ch}^{li}, C_{sdr}^{li}), l = \overline{1, q}, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Тогда как при использовании мультипликативного критерия:

$$X^{li} = (x_1^{li}, x_2^{li}) = (D_b^{li}, C_{sdr}^{li}), l = \overline{1, q}, i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Следует отметить, что существующими алгоритмами балансировки нагрузки вычислительные показатели работы серверов обычно не учитываются в связи со сложностью сбора и обработки данных о состоянии вычислительных ресурсов. Особенностью предлагаемого метода является учет параметров состояния серверного комплекса при балансировке нагрузки с целью уменьшения временных затрат на обработку запросов пользователей.

Задача распределения статических данных (РСД) для наборов параметров (1) и (2) сформирована следующим образом: требуется распределить запросы пользователей на загрузку данных так, чтобы минимизировать стоимостные и временные затраты. Критерий выбора сервера для задачи принимает следующий вид:

$$\sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n \alpha^{li} F(X^{li}) = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^n \alpha^{li} (t^{li} + c^{li}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где α^{li} – признак отправки l -го запроса ($l = \overline{1, q}$), на i -ый сервер ($i = \overline{1, n}$), F – функция, зависящая от параметров состояния серверов и характеризующая временные и стоимостные затраты; t^{li} – время (с), затраченное i -ым сервером на выполнение l -го запроса. Ограничениями задачи (3) являются диапазоны изменения параметров состояния серверов. В связи с тем, что параметры состояния серверов имеют разные диапазоны изменения, для приведения к диапазону от 0 до 1 они нормализованы с помощью деления на максимальное значение каждого из параметров массива исходных данных согласно формуле:

$$\hat{x}_j^{li} = x_j^{li} / x_j^{\max}.$$

На рисунке 1 приведена схема модели распределения нагрузки по вычислительным ресурсам. Имитационная модель серверного комплекса позволяет определять его характеристики и изменения состояния во времени при заданных потоках заявок, поступающих на входы системы, и обосновать алгоритм выбора сервера. В модели серверного комплекса выделены подсистемы (1-5), выполняющие основные функции обработки запросов: генерация параметров состояния серверов (1) и потока заявок (2), создание очереди запросов (3). Подсистема нечеткого селектора Fuzzy Selector (4) [6-8] выполняет выбор сервера на основе нечеткого логического вывода, подсистема Servers (5) обрабатывает запросы на выбранном сервере. Переключатель серверов (Server switcher) перенаправляет запросы на выбранный сервер. Подсистема Servers представляет каналы обслуживания (сервера), которые принимают на вход запросы и задерживают их в течение времени обслуживания.

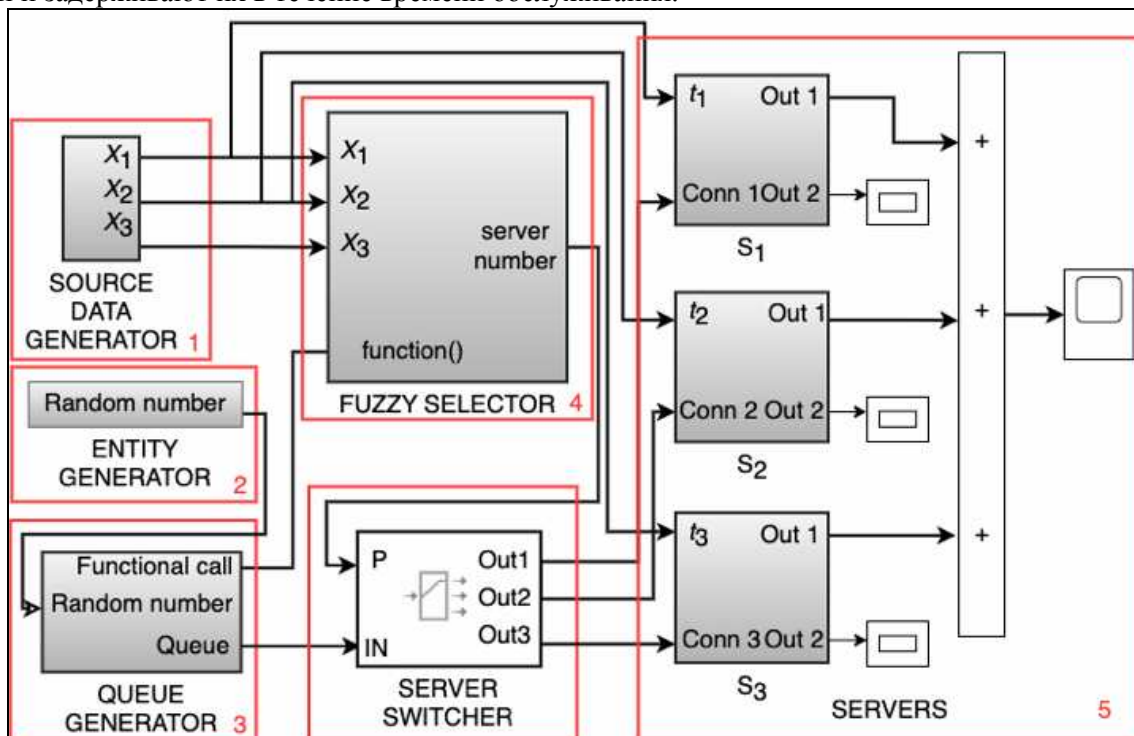


Рис. 1. Схема модели серверного комплекса для задачи РСД

В качестве входной информации для принятия решения о выборе сервера используется вектор входных параметров состояние серверов X согласно формулам (1), (2). Принято, что поток запросов на загрузку файлов в систему имеет экспоненциальный закон распределения, при котором плотность вероятности длительности пауз между генерациями запросов $p(t) = \lambda e^{-\lambda t}$, где λ – интенсивность потока (средняя длительность паузы между генерациями запросов $t_{ig} = \lambda^{-1}$). Длительность паузы между поступлением запросов t_{ig} изменялась в диапазоне от 1 до 2 секунд.

Результаты исследований

С использованием данных, полученных от реальных серверов, в среде MATLAB [10] проведено имитационное моделирование системы распределения нагрузки на основе нечеткого логического вывода для двух наборов данных (1) и (2). Принятые для моделирования исходные данные о диапазонах изменения показателей состояния серверов приведены в таблице 1.

Получены стоимостные (рис. 2,а) и временные (рис. 2,б) характеристики работы системы для каждого из методов.

Табл. 1. Исходные данные для проведения моделирования, задача РСД

Сервер	Показатели состояния сервера							
	Стоимость затрат, C_{sdr}		Мультипликативный параметр, D_b		Доступная пропускная способность B_{ch}		Расстояния от клиента до сервера D_s	
	C_{sdr}^{min}	C_{sdr}^{max}	D_b^{min}	D_b^{max}	B_{ch}^{min}	B_{ch}^{max}	D_s^{min}	D_s^{max}
S_1	0,10	0,70	0,10	0,30	0,10	0,50	0,30	0,80
S_2	0,42	0,56	0,20	0,40	0,31	0,70	0,50	1,00
S_3	0,30	0,60	0,50	0,57	0,60	1,00	0,40	0,80

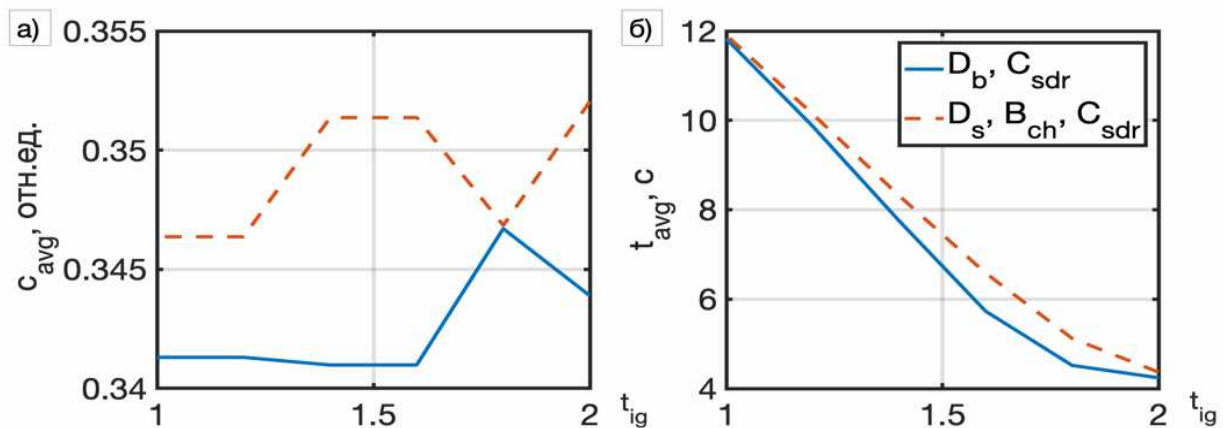


Рис. 2. Зависимость средних значений времени (а) и стоимости (б) обработки запросов от длительности паузы между запросами

За одну итерацию моделирования методы обрабатывают разное количество запросов, поэтому рассчитаны средние значения временных t_{avg} и стоимостных c_{avg} характеристик, полученных для различной длительности паузы между поступлениями запросов. Средняя стоимость обработки заявки уменьшается на 3,5% по сравнению с круговым методом распределения. Одновременно с уменьшением стоимости обработки запросов снизилось и время, затраченное на их обработку. Получено, что среднее время обработки запросов уменьшилось на величину до 15%.

Выводы и заключение

Полученные результаты подтвердили, что использование мультипликативного параметра (произведение расстояния от клиента до сервера D_s на доступную пропускную способность B_{ch}) для выбора сервера имеет преимущество по сравнению с использованием исходного набора параметров, которое выражается в уменьшении времени (до 3,5%) и стоимости обработки запросов пользователей (до 15%).

Список литературы

1. Викулов Е.О., Леонов Е.А., Денисова Л.А. Автоматизированное распределение больших объемов данных высоконагруженных систем // Динамика систем, механизмов и машин. 2014. – № 3. – С. 146-149.

2. Викулов Е.О., Распределение больших объемов данных // Известия Тульского государственного университета, технические науки. – 2023. – № 12. – С. 457-461.
3. Server load balancing | Akamai URL: <https://www.akamai.com/uk/en/resources/server-load-balancing.jsp>.
4. Basic Load Balancing – IBM cloud URL: <https://console.bluemix.net/docs/infrastructure/loadbalancer-service/basic-load-balancing.html>.
5. Eslami G., Haghihat A., Farokhi S. New Replica Server Placement Strategies using Clustering Algorithms and SOM Neural Network in CDNs // The International Arab Journal of Information Technology. 2017, vol. 14, no. 2, pp. 260-266.
6. Sahoo J., Salahuddin M.A., Glitho R. et al. A Survey on Replica Server Placement Algorithms for Content Delivery Networks // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2017, vol. 19, no. 2, pp. 1002-1026.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
8. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика – М.: Мир, 1992. – 184 с.
9. Vikulov E.O., Denisov O.V., Denisova L.A. Data distribution system preparation of server stations data // Journal of Physics: Conference Series. 2018, vol. 1050, p. 012097.
10. MATLAB Makers of Matlab and Simulink. – URL: <http://www.mathworks.com>.

Сведения об авторе:

Викулов Егор Олегович – старший преподаватель кафедры АСОИУ.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СХЕМ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕКРЕТА

Сагайдак Д.А.

Омский государственный технический университет, Омск

Ключевые слова: распределение потока данных, пропускная способность, демультимплексирование, мультимплексирование, разделение секрета, защита информации.

Аннотация. В целях обеспечения информационной безопасности рассматривается передача данных с демультимплексированием по двум каналам связи, имеющим различные пропускные способности. Каждое сообщение делится на две неравные доли, из которых меньшая передается по одному каналу, большая – по другому. Решается задача расчета оптимальных пропускных способностей каналов связи с учетом характеристик передаваемого трафика. Приводятся формулы и пример расчета.

OPTIMIZATION OF DATA TRANSMISSION WHEN IMPLEMENTING THE SECRET SHARING SCHEME

Sagaydak D.A.

Omsk State Technical University, Omsk

Keywords: data flow distribution, communication channel throughput, demultiplexing, multiplexing, secret sharing, information security.

Abstract. To ensure information security, the method of transmitting data with demultiplexing over communication channels takes into account different bandwidths. Each message includes two unequal shares, of which the smaller model is for one channel, the larger one is for the round. The problem of calculating optimal throughputs taking into account the characteristics of measurement traffic is solved. Formulas for calculation and an example of calculation are given.

Введение

В настоящее время наблюдается спрос на услуги доступа к Интернету, на увеличение скорости передачи данных, на приобретение дополнительных каналов связи. В Интернете наиболее популярным контентом являются видеоданные, вещание которых осуществляется с помощью клиент-серверных приложений, где они сначала преобразовываются с помощью алгоритмов и только потом передаются пользователю. Часто преобразования выполняются для обеспечения конфиденциальности с помощью криптографических алгоритмов. В таких случаях возможны задержки воспроизведения контента из-за необходимости обратного криптографического преобразования, которое выполняется на стороне клиента. Использование дополнительного канала связи в сети позволит организовать распределенную передачу данных и решить проблему конфиденциальности. Но возникают вопросы оптимизации пропускных способностей каналов связи, синхронизации передаваемых потоков, минимизации издержек по содержанию такой сети передачи данных.

Оптимизация передачи данных

В работах [1] предложены схемы разделения секрета (СРС) на неравные доли, которые позволяют использовать два канала связи (двухканальная СРС) с разными пропускными способностями, чтобы осуществить разнесение передаваемого ТСП/IP-трафика по этим каналам, как, например, это описано в работах [2, 3]. Предполагается, что СРС можно использовать для передачи любых данных и все преобразования, описанные в работе [1], выполняются непосредственно с двоичным представлением этих данных.

В качестве математической модели для оптимизации двухканальной СРС предлагается сеть с расщеплением заявок с двумя одноканальными системами массового обслуживания (СМО) (рис. 1). В терминах теории массового обслуживания сообщения и их доли будем называть заявками, демультимплексирование – расщеплением заявок, мультимплексирование – ассемблированием (сборкой) заявок. Две заявки, соответствующие двум долям одного и того же разделенного сообщения, являются сопряженными заявками. Дисциплина обслуживания очередей – FIFO (первым пришел – первым ушел).

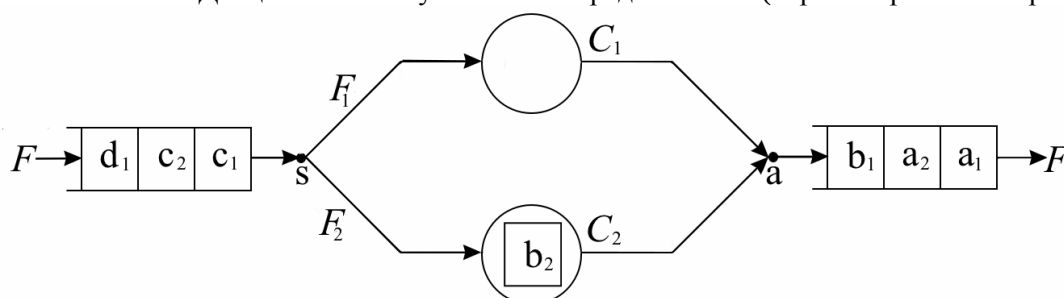


Рис. 1. Сеть с расщеплением заявок

Заявки передаются через два канала с пропускными способностями C_1 и C_2 , (Кбит/с). В отличие от традиционных СМО в точке s заявка не переходит в одну из СМО, а расщепляется на две заявки, одна поступает в СМО-1, другая – в СМО-2. В точке a ожидается поступление обеих сопряженных заявок и их объединение в одну заявку. Соответственно, входящий трафик F (Кбит/с) делится на две части F_1 и F_2 , где $F_1 + F_2 = F$. Момент входа заявки в сеть является одновременно моментом ее расщепления и моментом входа получаемых сопряженных частей в каждую из двух СМО. Тогда, интенсивности λ , λ_1 и λ_2 потоков заявок, поступающих в сеть, в СМО-1 и в СМО-2 соответственно, одинаковы, и описываются одним и тем же вероятностным законом. Время пребывания заявки в сети:

$$u = \max(u_1, u_2), \quad (1)$$

где u_1, u_2 – времена пребывания заявок в СМО-1, СМО-2 соответственно.

Среднее время пребывания заявок $U = M[\max(u_1, u_2)]$, зависит от пропускных способностей C_1, C_2 : $U = U(C_1, C_2)$. Пусть цена пропускной способности любого канала в расчете на время эксплуатации сети составляет m у.е./(Кбит/с). Тогда задача оптимизации C_1, C_2 может быть сформулирована так:

$$f = lU(C_1, C_2) + mC_1 + mC_2 \rightarrow \min_{C_1, C_2}, \quad (2)$$

где $C_1 \geq F_1, C_2 \geq F_2, l$ (у.е./с) – цена средней задержки заявки на одну секунду.

Так как входящая заявка имеет размер h (Кбит) и расщепляется на две сопряженные заявки так, что между их размерами h_1 и h_2 сохраняется пропорция: $h_2/h_1 = \gamma = \text{const}$, и если пропускные способности связаны условием $C_2 = \gamma C_1$, то времена обслуживания заявок в СМО-1 и СМО-2 совпадут: $x_2 = h_2/C_2 = (\gamma h_1)/(\gamma C_1) = h_1/C_1 = x_1$.

Задачу оптимизации (2) для синхронной сети, можно решить аналитически, поскольку времена пребывания заявок u_1 и u_2 совпадают, то $U = M[\max(u_1, u_2)] = M[u_1] = U_1$, где U_1 – среднее время пребывания заявки в СМО-1. Так как очередь перед СМО-1 не формируется, тогда $U_1 = x_1 = h_1/C_1$. Выполнив в (2) подстановки $U(C_1, C_2) = U_1(C_1) = h_1/C_1, C_2 = \gamma C_1, F_2 = \gamma F_1$ получим следующий вид задачи оптимизации для синхронной сети:

$$f = l \frac{h_1}{C_1} + m(1 + \gamma)C_1 \rightarrow \min_{C_1}, \quad (3)$$

где $C_1 \geq F_1$ и решение (3) сводится к решению алгебраического уравнения $\frac{df(C_1)}{dC_1} = 0$, определяющего

$$\text{точку локального минимума } C_1 = \sqrt{\frac{lh_1}{m(1 + \gamma)}}.$$

Если полученное C_1 удовлетворяет ограничению $C_1 \geq F_1$, то оно является решением задачи (3). Иначе решением задачи является наименьшее ближайшее значение C_1 , удовлетворяющее ограничению $C_1 \geq F_1$, т.е. значение $C_1 = F_1$.

Пример. При $l = 1, h_1 = 100, h_2 = 800, \gamma = h_2/h_1 = 8, F_1 = 700, F_2 = \gamma F_1 = 5600, m = 0,001$ локальный минимум функции (3) достигается в точке $C_1 = 105,409 < F_1$, тогда оптимальным является $C_1 = F_1 = 700$. Оптимальное значение $C_2 = \gamma C_1 = \gamma F_1 = 5600$. Из синхронности процессов в двух ветвях сети вытекает, что $\rho_1 = \rho_2 = 1$. Очереди к каналам отсутствуют. Средние издержки (3) при оптимальном значении C_1 , как нетрудно вычислить, составляют 6,443 у.е.

Выводы

Поставлена математическая задача оптимизации пропускных способностей каналов связи сети с разделением заявок в постоянном соотношении, для определения нижних границ интервалов параметров сети.

Список литературы

1. Sagaydak D.A., Faizullin R.T. Model secret sharing schemes in systems transmit video // Computer Optics. 2013, vol. 37, no 1, pp. 105-112.
2. Ефимов В.И., Файзуллин Р.Т. Система мультиплексирования разнесенного TCP/IP трафика // Математические структуры и моделирование. – 2002. – № 10. – С. 170-171.
3. Лавров Д.Н. Схема разделения секрета для потоков данных маршрутизируемой сети // Математические структуры и моделирование. – 2002. – № 10. – С. 192-197.

Сведения об авторе:

Сагайдак Дмитрий Анатольевич – аспирант.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ ЗА РАСХОДОВАНИЕМ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ

Самольянов К.В.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Ключевые слова: цифровизация, контроль, расходование, материально-технические ресурсы, компрессорная станция.

Аннотация. Статья посвящена вопросам цифровизации процесса контроля за расходованием материально-технических ресурсов на компрессорных станциях. Внедрение современных цифровых технологий, таких как интеллектуальные датчики, метки радиочастотной идентификации и облачные платформы, позволяет автоматизировать учет поступления, наличия и потребления различных видов материально-технических ресурсов, обеспечивая непрерывный мониторинг и анализ данных. Это способствует повышению эффективности использования ресурсов, снижению производственных затрат и улучшению финансовой прозрачности. Цифровизация также позволяет повысить производственную дисциплину и ответственность персонала, снизить непроизводительные потери и хищения. В статье представлены ключевые тезисы по данной теме.

DIGITALIZATION OF THE PROCESS OF CONTROLLING THE EXPENDITURE OF MATERIAL AND TECHNICAL RESOURCES AT COMPRESSOR STATIONS

Samolyanov K.V.

Ufa State Petroleum Technical University, Ufa

Keywords: digitalization, control, consumption, material and technical resources, compressor station.

Abstract. The article is devoted to the issues of digitalization of the process of monitoring the consumption of material and technical resources at compressor stations. The introduction of modern digital technologies, such as intelligent sensors, radio frequency identification tags and cloud platforms, allows for the automation of accounting for the receipt, availability and consumption of various types of material and technical resources, providing continuous monitoring and data analysis. This contributes to increasing the efficiency of resource use, reducing production costs and improving financial transparency. Digitalization also makes it possible to increase the production discipline and responsibility of personnel, reduce unproductive losses and theft. The article presents the key theses on this topic.

Внедрение системы автоматизированного учета и мониторинга расхода материально-технических ресурсов (МТР) на компрессорных станциях является ключевым фактором повышения эффективности использования ресурсов, снижения производственных затрат и улучшения прозрачности финансовой отчетности. Такая система позволяет обеспечить непрерывный контроль над всеми аспектами движения и потребления различных видов МТР, включая топливо, смазочные материалы, запасные части и другие ресурсы.

Автоматизированная система учета и мониторинга дает возможность в режиме реального времени отслеживать поступление МТР на склады компрессорной станции, их наличие и фактическое использование в производственных процессах. Это способствует своевременному выявлению и предотвращению случаев неэффективного расходования ресурсов, будь то перерасход топлива, нерациональное использование смазочных материалов или нецелевое списание запасных частей. Непрерывный мониторинг позволяет оперативно реагировать на отклонения от установленных норм и лимитов, принимать обоснованные управленческие решения по оптимизации потребления ресурсов [1].

Кроме того, внедрение цифровых технологий учета и контроля МТР повышает прозрачность финансовой отчетности. Автоматизированная система обеспечивает достоверный и детализированный учет всех операций по движению ресурсов, что позволяет формировать точные данные о расходах на производство, осуществлять эффективное планирование и управление затратами. Это, в свою очередь, способствует принятию более обоснованных управленческих решений, направленных на повышение рентабельности деятельности компрессорной станции.

В целом, комплексная автоматизация учета и мониторинга расхода МТР с применением современных цифровых технологий является действенным инструментом оптимизации использования материальных ресурсов, сокращения производственных издержек и повышения финансовой прозрачности на компрессорных станциях.

Использование современных цифровых технологий открывает широкие возможности для автоматизации процессов учета и анализа данных о движении и потреблении материально-технических ресурсов (МТР) на компрессорных станциях. Ключевую роль в этом играют такие технологические решения, как интеллектуальные датчики, RFID-метки и облачные платформы [4].

Интеллектуальные датчики, установленные на различных объектах инфраструктуры компрессорной станции, позволяют в режиме реального времени фиксировать все операции, связанные с поступлением, выдачей и расходованием различных видов МТР. Они обеспечивают непрерывный мониторинг количественных и качественных характеристик ресурсов, таких как объем, уровень,

концентрация и прочие параметры. Полученные данные в автоматическом режиме передаются на облачную платформу, где происходит их сбор, хранение и обработка [2].

RFID-метки, размещаемые на емкостях, упаковках и других единицах учета МТР, также интегрируются с автоматизированной системой, позволяя отслеживать перемещение ресурсов в пространстве и времени. Такая технология обеспечивает высокую точность учета, исключая ошибки, связанные с человеческим фактором.

Облачные платформы, аккумулирующие всю информацию об операциях с МТР, предоставляют возможность ее всестороннего анализа с применением современных методов обработки "больших данных". Это позволяет выявлять отклонения от установленных нормативов расхода, прогнозировать будущие потребности в закупках материалов и оптимизировать логистические цепочки поставок.

Комплексное использование интеллектуальных датчиков, RFID-меток и облачных технологий обеспечивает непрерывный мониторинг движения и потребления МТР на компрессорных станциях. Получаемые в режиме реального времени данные становятся основой для принятия оперативных управленческих решений, направленных на повышение эффективности использования ресурсов и оптимизацию производственных процессов.

Внедрение цифровых решений для контроля расходования материально-технических ресурсов (МТР) на компрессорных станциях оказывает значительное влияние на повышение производственной дисциплины и ответственности персонала. Ключевым фактором здесь является то, что вся информация о перемещении и использовании ресурсов фиксируется и учитывается в электронных системах [3].

Автоматизированные учетные системы позволяют осуществлять непрерывный мониторинг и контроль операций, связанных с выдачей, расходованием и списанием различных видов МТР. Каждая операция, будь то заправка топливом, выдача смазочных материалов или отпуск запасных частей, регистрируется в электронном журнале с указанием ответственного лица, времени, количества и других значимых параметров.

Это создает высокий уровень прозрачности производственных процессов, исключая возможность скрытого или несанкционированного использования ресурсов. Персонал, осознавая, что его действия в отношении МТР находятся под постоянным электронным контролем, становится более дисциплинированным и ответственным, стремясь неукоснительно соблюдать установленные нормы и регламенты.

Кроме того, цифровые системы учета позволяют оперативно выявлять случаи непроизводительных потерь, хищений или иного нецелевого расходования ресурсов. Благодаря детальной фиксации всех операций и наличию развитых аналитических инструментов, руководство компрессорной станции может своевременно реагировать на любые отклонения, принимая соответствующие меры.

В конечном итоге, внедрение цифровых решений для контроля расходования МТР способствует не только повышению производственной дисциплины, но и улучшению качества управленческих решений на основе достоверных, документально подтвержденных данных. Это позволяет эффективно оптимизировать использование ресурсов, снижать непроизводительные издержки и повышать рентабельность деятельности компрессорной станции.

Список литературы

1. Варибрус А.В., Бардин А.К. Выбор оптимальных информационных технологий для повышения эффективности работы компрессорной станции // Молодой ученый. – 2019. – № 21(259). – С. 92-95.
2. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Столяров В.Е. Роль информации в применении технологий искусственного интеллекта при строительстве скважин для нефтегазовых месторождений // Научный Журнал Российского Газового Общества. – 2020. – № 3(26). – С. 6-21.
3. Еремин Н.А., Столяров В.Е., Сафарова Е.А., Гавриленко С.И. Цифровые системы управления транспортом газа // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2022. – № 2. – С. 234-254.
4. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Ложников П.С., Клиновенко С.А., Столяров В.Е., Иниватов Д. П. Анализ рисков при использовании технологий искусственного интеллекта в нефтегазодобывающем комплексе // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2021. – № 7(576). – С. 17-27.

Сведения об авторе:

Самольянов Константин Владимирович – магистрант.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ О ФЛАТТЕРЕ ОРТОТРОПНОЙ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Алгазин С.Д.¹, Синицын А.А.²¹Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва;²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Ключевые слова: коническая оболочка, задача на собственные значения, численный алгоритм без насыщения, флаттер, свободные колебания, трехмерная теория упругости.

Аннотация. На основе постановки Л. Тонга о свободных колебаниях ортотропной конической оболочки сформулирована задача о флаттере ортотропной конической оболочки. В результате оказывается, что задача сводится к несамосопряженной задаче на собственные значения для обыкновенного дифференциального уравнения 4го порядка с малыми параметрами при старшей производной. Алгоритм этого решения будет опубликован позднее.

STATEMENT OF THE PROBLEM OF THE FLUTTER OF AN ORTHOTROPIC CONICAL SHELL

Algazin S.D.¹, Sinitsyn A.A.²¹Ishlinsky Institute of Problems of Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow;²Lomonosov Moscow State University, Moscow

Keywords: conical shell, eigenvalue problems, numerical algorithm without saturation, flutter, free oscillations, the three-dimensional theory of elasticity.

Abstract. Based on L. Tong's statement about free oscillations of an orthotropic conical shell, the problem of the flutter of an orthotropic conical shell are considered. As a result, it turns out that the problem reduces to a non-self-adjoint eigenvalue problem for an ordinary 4th-order differential equation with small parameters at the highest derivative. The algorithm of this solution will be published later.

1. Введение. Благодаря частому использованию свободные колебания конических оболочек были изучены многими исследователями. Используя технику Релея-Ритца, Сондерс и др. [1]. Гарнет и Кемпер [2] и Сиу и Берт [3] вычислили частоты для свободных колебаний изотропных конических оболочек. Голдберг и др. [4] и Калнис [5] проанализировали ту же проблему, используя метод численной интеграции. Айрей, Ямада и Канеко [6,7] разработали полезный подход к матрице передачи, который использовался для изучения свободных колебаний конических оболочек с переменной толщиной. Известный метод конечного элемента был использован для изучения свободных колебаний конических оболочек с однородной толщиной Сена и Гульда [8]. Дрехер и Лейсса [9] выразили равновесие уравнений, с точки зрения функции напряжений и перемещений, и получили аналитическое решение серии для осесимметричной вибрации изотропных конических оболочек. Насколько нам известно существует множество литературы о свободных колебаниях изотропных конических оболочек, но не было простого решения этой проблемы. Для ортотропных снарядов было меньше исследований. Подобно исследованиям для изотропных конических оболочек, Коэн [10] исследовал асимметричные свободные колебания кольцевых ортотропных оболочек вращения. Уилкинс и др. [11] изучали свободные колебания ортотропных многослойных-конических оболочек с различными граничными условиями. Ян [12] вычислял частоты и связанные с ними режимы вибрации ортотропных конических оболочек с помощью метода интеграции. Используя метод возмущения, Тонг и Ван [13] выбрали половинный угол раствора конуса – половина угла при вершине в качестве параметра возмущения – и получили решения первого порядка параметра частоты и связанных с ним режимов вибрации. Однако, как и в случае с изотропными оболочками, не было простого решения, опубликованного для анализа свободных колебаний ортотропных конических оболочек.

В этом исследовании разработана простая и точная процедура для свободных колебаний изотропных и ортотропных конических оболочек. Процедура состоит из следующих шагов: (1) уравнения свободных колебаний разработаны и выражены в перемещениях; (2) с помощью новой техники точные решения строятся в форме серии для исходных уравнений и определяется сходимость серии решений. В порядке проверки анализируется несколько примеров, чтобы показать обоснованность настоящей процедуры.

2. Постановка задачи. Рассмотрим коническую оболочку, как показано на рисунке 1. R_0 – начальный радиус конуса, R_1 и R_2 указывают радиус конуса на его малых и больших концах соответственно, α обозначает половинный угол раствора конуса; половина угла при вершине конуса и L является длиной конуса вдоль его образующей. Теперь мы вводим систему координат x – ϕ ; x измеряется вдоль образующей конуса, начиная со середины, образующей конуса, и ϕ является окружной координатой. Перемещения срединной поверхности оболочки обозначаются U и V вдоль x и ϕ направлений, соответственно, и W вдоль нормали к поверхности (направление внутрь – положительно). С точки зрения из этих переменных радиус конуса по его длине может быть выражен так

$$R(x) = R_0 + x \sin \alpha, R_0 = R(0).$$

(1)

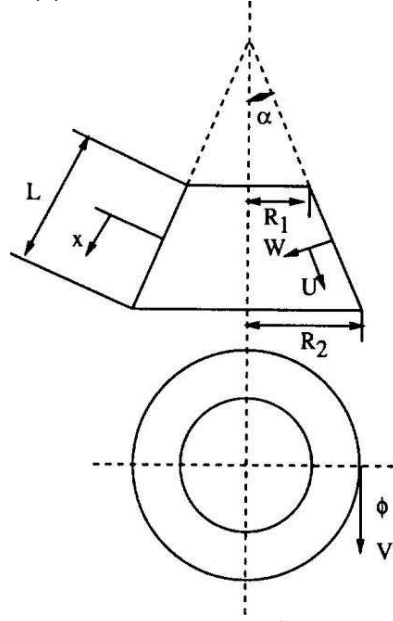


Рис. 1. Геометрия и обозначения

Для анализа флаттера ортотропных конических оболочек мы принимаем теорию пологой оболочки [14] и пишем исходные уравнения, пренебрегая тангенциальными силами инерции и, принимая аэродинамические силы, действующие на оболочку из потока, по поршневой теории А.А. Ильюшина так

$$\begin{aligned} L_{11}U + L_{12}V + L_{13}W &= 0, \\ L_{21}U + L_{22}V + L_{23}W &= 0, \\ L_{31}U + L_{32}V + L_{33}W &= -\rho h \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + Z, \\ Z &= -\Delta p, \Delta p = \frac{k p_0}{c_0} \left(U \circ \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial W}{\partial t} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

где L_{ij} – длина конуса вдоль образующей; Z – аэродинамическая сила, действующая из потока по теории Ильюшина; p_0 , c_0 – давление и скорость звука в невозмущённом потоке; ω – комплексная частота; ρ – плотность материала пластины, k – показатель политропы ($\approx 1,4$ для воздуха); будем разыскивать решение задачи (2) в виде:

$$U(x, \phi, t) = U(x, \phi) e^{i\omega t}, V(x, \phi, t) = V(x, \phi) e^{i\omega t}, W(x, \phi, t) = W(x, \phi) e^{i\omega t}.$$

Тогда

$$\begin{aligned} L_{11} &= A_{11} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{A_{11} \cdot \sin \alpha}{R(x)} \cdot \frac{\partial}{\partial x} - \frac{A_{22} \cdot \sin^2 \alpha}{R^2(x)} + \frac{A_{66}}{R^2(x)} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \phi^2}, \\ L_{12} &= \frac{(A_{12} + A_{66})}{R(x)} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x \partial \phi} - \frac{(A_{22} + A_{66}) \cdot \sin \alpha}{R^2(x)} \cdot \frac{\partial}{\partial \phi}, \\ L_{13} &= -\frac{A_{12} \cdot \cos \alpha}{R(x)} \cdot \frac{\partial}{\partial x} + \frac{A_{22} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{R^2(x)}, \\ L_{21} &= \frac{(A_{12} + A_{66})}{R(x)} \cdot \frac{\partial^2}{\partial x \partial \phi} + \frac{(A_{22} + A_{66}) \cdot \sin \alpha}{R^2(x)} \cdot \frac{\partial}{\partial \phi}, \\ L_{22} &= A_{66} \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\sin \alpha}{R(x)} \cdot \frac{\partial}{\partial x} - \frac{\sin^2 \alpha}{R^2(x)} \right] + \frac{A_{22}}{R^2(x)} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2}, \\ L_{23} = L_{32} &= -\frac{A_{22} \cos \alpha}{R^2(x)} \frac{\partial}{\partial \phi}; \quad L_{31} = -\frac{A_{12} \cdot \cos \alpha}{R(x)} \frac{\partial}{\partial x} - \frac{A_{22} \cdot \sin \alpha \cos \alpha}{R^2(x)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{33} = & \frac{A_{22} \cdot \cos^2 \alpha}{R^2(x)} + D_{11} \frac{\partial^4}{\partial x^4} + \frac{2(D_{12} + 2D_{66})}{R^2(x)} \cdot \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial \phi^2} + \frac{D_{22}}{R^4(x)} \frac{\partial^4}{\partial \phi^4} + \\
 & + \frac{2D_{11} \sin \alpha}{R(x)} \frac{\partial^3}{\partial x^3} - \frac{2(D_{12} + 2D_{66}) \sin \alpha}{R^3(x)} \cdot \frac{\partial^3}{\partial x \partial \phi^2} - \frac{D_{22} \sin^2 \alpha}{R^2(x)} \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \\
 & + \frac{2(D_{12} + D_{22} + 2D_{66}) \sin^2 \alpha}{R^4(x)} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{D_{22} \sin^3 \alpha}{R^3(x)} \frac{\partial}{\partial x}
 \end{aligned} \quad (3)$$

и A_{ij} и D_{ij} ($i, j = 1, 2, 6$) рассчитываются из следующих уравнений:

$$\begin{aligned}
 A_{11} = \frac{E_x h}{1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x}}, \quad A_{12} = \frac{\mu_{\phi x} E_x h}{1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x}}, \quad A_{21} = \frac{\mu_{x\phi} E_\phi h}{1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x}}, \quad A_{22} = \frac{E_\phi h}{1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x}}, \quad A_{66} = G_{x\phi} h, \\
 D_{11} = \frac{E_x h^3}{12(1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x})}, \quad D_{12} = \frac{\mu_{\phi x} E_x h^3}{12(1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x})}, \quad D_{21} = \frac{\mu_{x\phi} E_\phi h^3}{12(1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x})}, \\
 D_{22} = \frac{E_\phi h^3}{12(1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x})}, \quad D_{66} = \frac{G_{x\phi} h^3}{12},
 \end{aligned} \quad (4)$$

в котором $E_x, E_\phi, \mu_{x\phi}, \mu_{\phi x}$ и $G_{x\phi}$ – материалыные упругие константы, h – толщина оболочки, ρ – плотность и

$$\mu_{x\phi} E_\phi = \mu_{\phi x} E_x.$$

Силы и моменты напряжения выражаются через перемещения U, V и W

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_\phi \\ N_{x\phi} \\ M_x \\ M_\phi \\ M_{x\phi} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} l_{11} & l_{12} & l_{13} \\ l_{21} & l_{22} & l_{23} \\ l_{31} & l_{32} & l_{33} \\ 0 & 0 & l_{43} \\ 0 & 0 & l_{53} \\ 0 & 0 & l_{63} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ V \\ W \end{Bmatrix}, \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned}
 l_{11} = A_{11} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{A_{12} \sin \alpha}{R(x)}, \quad l_{12} = \frac{A_{12}}{R(x)} \frac{\partial}{\partial \phi}, \quad l_{13} = \frac{A_{12} \cos \alpha}{R(x)}, \quad l_{31} = \frac{A_{66}}{R(x)} \frac{\partial}{\partial \phi}, \\
 l_{32} = A_{66} \left[\frac{\partial}{\partial x} - \frac{\sin \alpha}{R(x)} \right], \quad l_{j3} = -D_{1i} \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{D_{i2} \sin \alpha}{R(x)} \frac{\partial}{\partial x} - \frac{D_{i2}}{R^2(x)} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2}, \\
 l_{63} = -2D_{66} \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{1}{R(x)} \frac{\partial}{\partial \phi} \right],
 \end{aligned} \quad (6)$$

где $i=1, 3$ и $j=3+i$.

Поперечные перерезывающие силы могут быть получены из M_x, M_ϕ и $M_{x\phi}$

$$\begin{aligned}
 Q_x = \frac{1}{R(x)} \frac{\partial}{\partial x} [R(x) M_x] - \frac{M_\phi \sin \alpha}{R(x)} + \frac{1}{R(x)} \frac{\partial M_{x\phi}}{\partial \phi}, \\
 Q_\phi = \frac{1}{R(x)} \frac{\partial}{\partial x} [R(x) M_{x\phi}] - \frac{M_{x\phi} \sin \alpha}{R(x)} + \frac{1}{R(x)} \frac{\partial M_\phi}{\partial \phi};
 \end{aligned} \quad (7)$$

и перерезывающая сила Кельвин-Кирхгоффа

$$\bar{Q}_x = Q_x + \frac{1}{R(x)} \frac{\partial M_{x\phi}}{\partial \phi}. \quad (8)$$

Соответствующие граничные условия могут быть выражены так

$$\begin{aligned}
 N_x = 0 \text{ или } U = 0, \\
 N_{x\phi} = 0 \text{ или } V = 0,
 \end{aligned}$$

$$M_x = 0 \text{ или } \frac{\partial W}{\partial x} = 0 \text{ при } x = \pm \frac{L}{2},$$

$$\bar{Q}_x = 0 \text{ или } W = 0.$$
(9)

Для простоты рассмотрим следующие два типа граничных условий.

Случай 1: граничные условия свободного опирания при $x = \pm L/2$. Существует четыре подкласса граничных условий свободного опирания. Они обозначаются следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{SS1: } N_{x\phi} &= N_x = M_x = W = 0, \\ \text{SS2: } N_{x\phi} &= U = M_x = W = 0, \\ \text{SS3: } V &= N_x = M_x = W = 0, \\ \text{SS4: } V &= U = M_x = W = 0. \end{aligned}$$
(10)

Случай 2: граничные условия защемления при $x = \pm L/2$. Четыре подкласса в данном случае:

$$\begin{aligned} \text{CC1: } N_{x\phi} &= N_x = \frac{\partial W}{\partial x} = W = 0, \\ \text{CC2: } N_{x\phi} &= U = \frac{\partial W}{\partial x} = W = 0, \\ \text{CC3: } V &= N_x = \frac{\partial W}{\partial x} = W = 0, \\ \text{CC4: } V &= U = \frac{\partial W}{\partial x} = W = 0. \end{aligned}$$
(11)

Вышеупомянутый набор итоговых уравнений вырождается по сравнению с цилиндрическими оболочками, когда α равно нулю. Стоит также отметить, что если начало координат оси x будет перенесено на вершину конуса, где радиус равен нулю, то система координат x - ϕ будет совпадать с системой координат s - ϕ , используемой многими предыдущими исследователями. Еще одним интересным случаем является случай, когда угол α приближается к прямому углу. В этом случае дифференциальные операторы L_{13} , L_{23} , L_{31} и L_{32} приближаются к нулю, а три уравнения равновесия становятся независимыми, т.е. первые два уравнения тогда описывают проблему в плоскости, а третье – проблему свободных колебаний круговых пластин.

Очевидно, что система уравнений, представленных выше, сложна, и, по нашим сведениям, точные решения для этих уравнений не известны. В следующем разделе мы наметим стратегию построения общих решений для этих уравнений.

3. Точные решения

Проверка дифференциальных операторов L_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) в уравнениях (3) показывает следующие свойства.

Коэффициенты всех этих операторов являются функциями только x , т.е. они независимы от ϕ и включают в себя условия следующей формы: $1/R^k(x)$, $k = 0, 1, 2, 3, 4$. Для операторов L_{ij} ($i = 1, 2; j = 1, 2, 3$), k принимает значения от 0 до 2. Для L_{3i} ($j = 1, 2, 3$) значение k колеблется от 0 до 4. Эти полезные свойства позволяют нам изменить уравнения в более удобную форму. Умножая первые два отношения уравнений (2) на $R^2(x)$ и третий на $R^4(x)$, мы получаем следующие измененные уравнения:

$$\begin{aligned} L_{11}^* U + L_{12}^* V + L_{13}^* W &= 0, \\ L_{21}^* U + L_{22}^* V + L_{23}^* W &= 0, \\ L_{31}^* U + L_{32}^* V + L_{33}^* W &= R^4(x) \left(-\rho h \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + Z \right), \end{aligned}$$
(12)

где

$$L_{11}^* = A_{11} R^2(x) \frac{\partial^2}{\partial x^2} + A_{11} \cdot R(x) \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial x} - A_{22} \cdot \sin^2 \alpha + A_{66} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \phi^2},$$

$$L_{12}^* = (A_{12} + A_{66}) R(x) \frac{\partial^2}{\partial x \partial \phi} - (A_{22} + A_{66}) \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial \phi},$$

$$L_{21}^* = (A_{12} + A_{66}) R(x) \frac{\partial^2}{\partial x \partial \phi} + (A_{22} + A_{66}) \cdot \sin \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial \phi},$$

$$\begin{aligned}
 L_{22}^* &= A_{66} \left[R^2(x) \frac{\partial^2}{\partial x^2} + R(x) \sin \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial x} - \sin^2 \alpha \right] + A_{22} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2}, \\
 L_{13}^* &= -A_{12} R(x) \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial x} + A_{22} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha, \\
 L_{23}^* &= -A_{22} \cdot \cos \alpha \frac{\partial}{\partial \phi}, \\
 L_{31}^* &= -R^2(x) \left[A_{12} \cdot R(x) \cdot \cos \alpha \frac{\partial}{\partial x} - A_{22} \cdot \sin \alpha \cos \alpha \right], \\
 L_{32}^* &= -A_{22} R^2(x) \cdot \cos \alpha \frac{\partial}{\partial \phi}, \\
 L_{33}^* &= D_{11} R^4(x) \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2(D_{12} + 2D_{66}) R^2(x) \cdot \frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial \phi^2} + D_{22} \frac{\partial^4}{\partial \phi^4} + \\
 &+ 2D_{11} R^3(x) \sin \alpha \frac{\partial^3}{\partial x^3} - 2(D_{12} + 2D_{66}) R(x) \sin \alpha \cdot \frac{\partial^3}{\partial x \partial \phi^2} - D_{22} R^2(x) \sin^2 \alpha \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \\
 &+ 2(D_{12} + D_{22} + 2D_{66}) \sin^2 \alpha \cdot \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + D_{22} R(x) \sin^3 \alpha \frac{\partial}{\partial x} + A_{22} \cdot R^2(x) \cos^2 \alpha.
 \end{aligned} \tag{13}$$

Теперь давайте предположим, решения для уравнений (12) следующей формы:

$$U = u(x) \cdot \cos n\phi, \quad V = v(x) \cdot \sin n\phi, \quad W = w(x) \cdot \cos n\phi. \tag{14}$$

4. Численный алгоритм без насыщения

Подставляя [14] в [13] получим:

$$\begin{aligned}
 L_{11}^* U &= A_{11} R^2(x) u''(x) \cos n\phi + A_{11} R(x) \sin \alpha u'(x) \cos n\phi - \\
 &- A_{12} \sin^2 \alpha u(x) \cos n\phi - A_{66} n^2 u(x) \cos n\phi,
 \end{aligned} \tag{15}$$

$$L_{12}^* V = (A_{12} + A_{66}) R(x) v'(x) n \cos n\phi - (A_{22} + A_{66}) \sin \alpha v(x) n \cos n\phi, \tag{16}$$

$$L_{13}^* W = -A_{12} R(x) \cos \alpha w'(x) \cos n\phi + A_{22} R(x) \sin \alpha \cos \alpha w(x) \cos n\phi. \tag{17}$$

Из (15)-(17), сокращая на $\cos n\phi$, получаем 1-е уравнение:

$$\begin{aligned}
 &A_{11} R^2(x) u''(x) + A_{11} R(x) \sin \alpha u'(x) - A_{12} \sin^2 \alpha u(x) - A_{66} n^2 u(x) + \\
 &+ (A_{12} + A_{66}) R(x) v'(x) n - (A_{22} + A_{66}) \sin \alpha v(x) n - \\
 &- A_{12} R(x) \cos \alpha w'(x) + A_{22} \sin \alpha \cos \alpha w(x) = 0.
 \end{aligned} \tag{18}$$

Делим обе части уравнения (18) на $A_{11} R^2(x)$ и полагаем $n = 0$, затем вводим безразмерные величины:

$$R'(x) = \frac{R(x)}{R_2}, \quad x' = \frac{x}{R_2}, \quad u' = \frac{u}{R_2}, \quad v' = \frac{v}{R_2}, \quad w' = \frac{w}{R_2}, \quad \rho = \rho' p_0 / c_0^2, \quad \omega = \omega' c_0 / R_2. \tag{19}$$

В дальнейшем знак штрих над безразмерными величинами опускаем. В результате получаем 1-е уравнение, $r_{12} = E_x / E_\phi$:

$$u''(x) + \frac{\sin \alpha u'(x)}{R(x)} - \mu_{\phi x} \sin^2 \alpha u(x) - \mu_{\phi x} \frac{\cos \alpha w'(x)}{R(x)} + \frac{1}{r_{12}} \frac{\sin \alpha \cos \alpha w(x)}{R^2(x)} = 0. \tag{20}$$

При $n = 0$ второе уравнение выпадает, в 3-м уравнении $L_{32}^* V = 0$, $\hat{h} = h / R_2$; $\cos n\phi$ опускаем и получаем в результате 3-е уравнение:

$$\begin{aligned}
 &-\left[\frac{\cos \alpha u'(x)}{R(x)} + \frac{\sin \alpha \cos \alpha}{r_{12} R^2(x)} u(x) \right] - \frac{h^2}{12} w^{(IV)} + \frac{h^2 \sin \alpha R(x)}{6} w'''(x) + \\
 &-\frac{\sin^2 \alpha r_{12} h^2}{6} w''(x) - \frac{r_{12} h^2 \sin^3 \alpha}{12} w'(x) + r_{12} \cos^2 \alpha w(x) = \\
 &= \frac{R^2(x)}{(E_x / p_0) h} (1 - \mu_{x\phi} \mu_{\phi x}) [-\rho h \omega^2 w - \kappa (U^0 w' + \omega w)],
 \end{aligned} \tag{21}$$

$$\gamma p_0 = (1 - \mu_{\text{xf}} \mu_{\text{фх}}) / (E_1 / p_0), \lambda = -\rho h \omega^2 - \kappa \omega.$$

Заключение

На основе постановки Л.Тонга о свободных колебаний ортотропной конической оболочки сформулирована задача о флаттере ортотропной конической оболочки. Уравнения (20-21) с граничными условиями (10-11) дают несамосопряжённую задачу на собственные значения (λ – спектральный параметр). Таким образом, задача о флаттере ортотропной конической оболочки, сводится к обыкновенному дифференциальному уравнению 4-го с малым параметром при старших производных. Дальнейшие рассуждения аналогичны тем, которые приводятся в книге [15]. Алгоритм этого решения будет опубликован позднее.

Список литературы

1. Saunders H., Wisniewski E.J., Pasley P.R. Vibration of Conical Shells // The Journal of the Acoustical Society of America. 1959, vol. 31, p. 1577. doi.org/10.1121/1.1930301.
2. Garnet H., Kemper J. Axisymmetric free vibration of conical shells // Journal of Applied Mechanics. 1964, vol. 31, pp. 458-466. doi.org/10.1115/1.3629663.
3. Siu C.C., Bert C.W. Free vibration analysis of sandwich conical shells // Journal of the Acoustic Society of America. 1970, vol. 47, pp. 943-945. doi.org/10.1121/1.1911985.
4. Goldberg J.E., Bogdanoff J.L., Marcus L. On the calculation of the axisymmetric modes and frequencies of conical shells // Journal of the Acoustic Society of America. 1960, vol. 32, pp. 738-748. doi.org/10.1121/1.1908201.
5. Kalnins A. Free vibration of rotationally symmetric shells. // Journal of the Acoustical Society of America. 1964, vol. 36, pp. 1355-1365. doi.org/10.1121/1.1919208.
6. Irie T., Yamada G., Kaneko Y. Natural frequencies of Truncated conical shells // Journal of Sound and Vibration. 1984, vol. 92, pp. 447-453. doi.org/10.1016/0022-460X(84)90391-2.
7. Irie T., Yamada G., Kaneko Y. Free vibration of a conical shell with variable thickness // Journal of Sound and Vibration. 1982, vol. 82, pp. 83-94. doi.org/10.1016/0022-460X(82)90544-2.
8. Sen S.K., Gould P.L. Free vibration of shells of revolution using FEM // Journal of the Engineering Mechanics Division. 1974, vol. 100, pp. 283-303. doi.org/10.1061/JMCEA3.0001875.
9. Dreher J.F., Leissa A.W. Axisymmetric Vibrations in thin conical shells // Journal of Developments in Theoretical and Applied Mechanics. 1970, vol. 4, pp. 163-182.
10. Cohen G.A. Computer analysis of asymmetric buckling of ring stiffened orthotropic shells of revolution // Journal of American Institute of Aeronautics and Astronautics. 1968, vol. 6, pp. 141-149.
11. Wilkins D.J.Jr., Bert C.W., Egle D.M. Free Vibrations of Orthotropic Sandwich Conical Shells with Various Boundary Conditions // Journal of Sound and Vibration. 1970, vol. 13, pp. 211-228. doi.org/10.1016/S0022-460X(70)81175-0.
12. Maidanik G. Vibrational and radiative classifications of modes of a baffled finite panel // Journal of Sound and Vibration. 1974, vol. 34, pp. 447-455. doi.org/10.1016/S0022-460X(74)80175-6.
13. Tong L., Wang T.K. Free vibration of orthotropic conical shells // Journal of Shanghai mechanics. 1988, vol. 9, pp. 25-34.

Сведения об авторах:

Алгазин Сергей Дмитриевич – д.ф.-м.н., ведущий сотрудник лаборатории механики и оптимизации конструкций;

Синицын Артемий Александрович – аспирант.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МАШИННОГО ВРЕМЕНИ БЕЗ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ИСТОРИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ

*Исаченко А.С., Хангоров В.Д., Катков М.В., Касимов Р.Т., Скворцов Е.С., Угринович Е.Д.
Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск*

Ключевые слова: станки с ЧПУ, машинное время, общая эффективность оборудования, классификатор изделий, скорость удаления материала, оперативное планирование.

Аннотация. Планирование загрузки оборудования является одним из важных факторов оптимизации производительности и увеличения конкурентоспособности. Существует множество методов предварительной оценки машинного времени, но они или не могут гарантировать достаточно точные результаты, или не требуют значительных временных затрат. В данной работе описывается метод, основанный на выведении поправочного коэффициента, который позволяет привести машинное время, рассчитанное на основе скорости удаления материала, к действительному машинному времени без предварительного написания управляющей программы. Унификация режимов резания и применяемого инструмента позволила использовать исторические производственные данные как датасет для обучения нейронной сети, делающей возможным составление классификатора изделий и выведения поправочного коэффициента машинного времени.

PRELIMINARY ESTIMATION OF MACHINING TIME WITHOUT A CONTROL PROGRAM BASED ON HISTORICAL PRODUCTION DATA

*Isachenko A.S., Khangorov V.D., Katkov M.V., Kasimov R.T., Skvortsov E.S., Ugrinovich E. D.
Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk*

Keywords: CNC machines, machining time, overall equipment effectiveness, product classifier, material removal rate, shop floor scheduling.

Abstract. Planning the utilization of equipment is one of the key factors in optimizing productivity and increasing competitiveness. There are numerous methods for preliminary estimation of machine time, but they either cannot guarantee sufficiently accurate results or do not require significant time investments. This paper describes a method based on deriving a correction factor, which allows for adjusting the calculated machine time, based on the material removal rate, to the actual machine time without the need to write a control program in advance. The standardization of cutting modes and the tool used has made it possible to use historical production data as a dataset for training a neural network, enabling the creation of a product classifier and the derivation of a machine time correction factor.

Современное машиностроительное производство предъявляет повышенные требования к гибкости предприятия, то есть возможности быстрой его перестройки под требования заказчика для повышения конкурентоспособности. Для эффективной работы предприятия всегда требуется планирование загрузки оборудования, в том числе расчёт коэффициента загрузки оборудования. Определяющим фактором в таком планировании является оценка основного времени. Для оборудования с ЧПУ в основном это время оценивается по предварительно написанной управляющей программе. В связи с быстрой перестройкой на выпуск новых изделий, на момент планирования не всегда есть в наличии готовая управляющая программа, и возникает необходимость быстрой предварительной оценки машинного времени.

Существующие методы оценки машинного времени на станках с ЧПУ можно разделить на 4 категории:

- 1) оценка на основе скорости съёма материала;
- 2) оценка на основе управляющей программы;
- 3) оценка на основе управляющей программы и характеристик станка;
- 4) оценка на основе искусственного интеллекта.

В работе [1] описывается метод оценки машинного времени, не основанный на управляющей программе. В качестве параметров, влияющих на машинное время, указываются сложность детали, которая определяется геометрическими и точностными параметрами, а также материалом.

Авторы работы [2] описывают важность учёта и метод нахождения при помощи нейронных сетей дополнительного коэффициента, который учитывает разницу расчётного и фактического основного времени, обусловленную динамическими характеристиками станка, а также разницей между построенными и фактическими траекториями инструмента.

В работе [3] приведён метод оценки машинного времени при помощи свёрточной нейронной сети, которая оценивает объём удаляемого материала и на основе этих данных позволяет с достаточно высокой скоростью получить предварительное время обработки детали. Однако точностные параметры деталей и виды обработки не принимаются во внимание.

В вышеупомянутых трудах не выделяется такой параметр как кривизна поверхности, который значительно усложняет процесс обработки и существенно увеличивает машинное время ввиду увеличения количества проходов при чистовой обработке и невозможности использования оптимальной ширины фрезерования на протяжении всего процесса черновой обработки.

Традиционно машинное время определяется по общемашиностроительным нормативам. Однако в связи с отсутствием актуальной информации о современном оборудовании, инструменте и режимах резания, применение данных нормативов является нецелесообразным, так как оно не учитывает специфику производства и имеет большую погрешность. Индивидуальный подход обеспечивает более точную оценку, и как следствие, более эффективное планирование графика производственного процесса.

Также, машинное время может быть предварительно определено путем экспертной оценки. Опытные специалисты могут довольно точно определить время обработки типовых деталей из знакомой номенклатуры изделий. Однако данный метод не всегда применим, поэтому вопрос предварительной оценки машинного времени остаётся нерешённым.

Метод оценки машинного времени по управляющей является распространённым и простым, однако он не даёт высокой точности, так как не учитывает динамические характеристики оборудования. Применение в совокупности с данным методом коэффициента, описанного в работе [2], позволяет значительно увеличить точность оценки.

В реальной производственной ситуации может возникать потребность в оценке машинного времени для изменения цехового расписания без управляющей программы, написание которой занимает значительное время, что является недопустимым при ограниченных временных ресурсах.

Для решения данной проблемы в цехах изготовления деталей заготовительно-штамповочной оснастки, характеризующейся единичным выпуском, предлагается метод предварительной оценки машинного времени на основе скорости съёма материала и поправочного коэффициента. При разработке данного метода был проведён анализ выпускаемой продукции для её классификации. Были выделены следующие типы изделий: основание, оправка, накладка, болванка, болванки под патрубки, лекало и литейная модель. Выделенные классы изделий характеризуются схожестью геометрической формы, материалом, применяемым инструментом и, следовательно, режимами механообработки.

После унификации режимов механообработки и используемого инструмента появляется возможность использовать исторические производственные данные для обучения нейронной сети для предварительной оценки машинного времени по следующим параметрам: объем удаляемого материала при черновой обработке, площадь поверхностей, обрабатываемых при получистовой и чистовой обработке, а также скорости удаления материала при всех трех стадиях обработки. Исторические данные, используемые для обучения, имеют готовые управляющие программы, используя которые в совокупности с эмпирически полученным поправочным коэффициентом, описанным в работе [2], возможно при помощи нейронной сети установить зависимости между геометрическими характеристиками детали и машинным временем без написания управляющей программы.

Так, анализ составленного датасета позволил провести первичную классификацию изделий и вывести поправочный коэффициент для некоторых классов деталей, позволяющий привести расчетное машинное время к действительному. Для отдельных классов погрешность составила менее 5%, что свидетельствует о применимости данной методики, однако она требует доработки, так как для некоторых классов погрешность была значительно выше. Это свидетельствует о том, что некоторые классы изделий следует разбить на подклассы по геометрическим признакам, доработать датасет, и провести анализ повторно с учетом корректировок.

Список литературы

1. Armillotta A. On the role of complexity in machining time est // Journal of Intelligent Manufacturing. 2021, vol. 32, pp. 2281-2299.
2. Yamamoto Y., Aoyama H., Sano N. Development of accurate estimation method of machining time in consideration of characteristics of machine tool // School of Integrated Design Engineering, Keio University, Yokohama, Japan 3-14-1 Hiyoshi, Kohoku-ku, Yokohama, Kanagawa, 2017, pp. 223-8522.
3. Takizama H., Aoyama H., Song Cheol Won. Basic Study on Rapid Estimation of Machining Time Based on AI with Two-Dimensional Data (Trihedral Figures) // International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing. 2019, vol. 7, no. 6, pp. 235-239.

Сведения об авторах:

Исаченко Алексей Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств»;

Хангоров Виталий Денисович – студент;

Катков Михаил Владиславович – студент;

Касимов Руслан Тимурович – студент;

Скворцов Евгений Сергеевич – студент;

Угринович Елизавета Денисовна – студент.

ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНЫХ СИЛ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ МАГНИТАМИ

Сизо А.А., Литвинов А.Е.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: взаимодействие зарядов, магнитные заряды, крутящий момент, сила притяжения, полюс, соприкосновение полей.

Аннотация. В работе приведены результаты экспериментальных исследований сил магнитного взаимодействия. Установлена зависимость магнитных сил от расстояния между магнитами. Получен наглядный график изменения силы магнитного взаимодействия при поэтапном удалении магнитов друг относительно друга. По итогу проведенной работы сделаны соответствующие выводы, и получены результаты для дальнейших исследований

DEPENDENCE OF MAGNETIC FORCES ON THE DISTANCE BETWEEN MAGNETS

Sizo A.A., Litvinov A.E.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: interaction of charges, magnetic charges, torque, force of attraction, pole, contact of fields.

Abstract. The paper presents the results of experimental studies of the forces of magnetic interaction. The dependence of magnetic forces on the distance between magnets has been established. A visual graph of the change in the strength of the magnetic interaction with the gradual removal of magnets relative to each other is obtained. As a result of the work carried out, appropriate conclusions were drawn, and results for further research were obtained.

Магнитное поле является формой материи, осуществляющее взаимодействие между движущимися заряженными частицами.

Материальность магнитного поля, воздействие на движущийся электрический заряд, скорость распространения близкая к скорости света в вакууме – все это основные свойства магнитного поля [1].

Магниты оказывают силы и крутящие моменты друг на друга посредством взаимодействия их магнитных полей. Силы притяжения и отталкивания являются результатом этих взаимодействий. Магнитное поле каждого магнита обусловлено микроскопическими токами электрически заряженных электронов, вращающихся вокруг ядер, и собственным магнетизмом элементарных частиц (таких как электроны), из которых состоит материал. Оба они довольно хорошо моделируются как крошечные петли тока, называемые магнитными диполями, которые создают свое собственное магнитное поле и подвержены воздействию внешних магнитных полей [2]. Наиболее элементарной силой между магнитами является магнитное диполь–дипольное взаимодействие. Если известны все магнитные диполи для каждого магнита, то суммарную силу, действующую на оба магнита, можно определить путем суммирования всех взаимодействий между диполями первого магнита и диполями второго магнита [3].

По своей природе магнитные полюса взаимодействуют так же, как и электрические заряды. Согласно закону Кулона, зависимость магнитного взаимодействия от расстояния между магнитами можно выразить формулой [4]:

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad (1)$$

где m_1, m_2 – магнитные заряды, А·м; r – расстояние между магнитами, м.

На рисунке 1 приведена зависимость сил взаимодействия магнитов от расстояния между ними.



Рис. 1. Зависимость магнитного взаимодействия от расстояния между магнитами

Анализируя вышесказанное, можно определить, что сила взаимодействия двух магнитов прямо пропорциональна произведению магнитных зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними [5]. Иными словами, чем дальше магниты находятся друг от друга, тем меньше силы взаимодействия их полей.

Список литературы

1. Литвинов А.Е., Сизо А.А. Повышение эксплуатационных характеристик круглопильных отрезных станков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. Материалы Международной научно-технической конференции. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2023. – С. 48-49.
2. Сизо А.А., Литвинов А.Е., Клепиков Д.А., Фомин А.Н. Разработка способа нанесения износостойких наноструктурированных покрытий с высокой адгезией на поверхность режущего инструмента отрезных станков // Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. – Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2022. – С. 245-250.
3. Litvinov A.E. Theoretical study of the process of noise formation on band saws // World Applied Sciences Journal. 2013, vol. 27, no. 12, pp. 1566-1573.
4. Сизо А.А., Литвинов А.Е., Бузько В.Ю., Чукарин А.Н. Характеристики защитных углеродистых пленок, нанесенных магнетронным напылением на быстрорежущие стали М42 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 9. – С. 361-366.
5. Литвинов А.Е., Чукарин А.Н. Исследование шумов и вибрации отрезных круглопильных станков // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №122/026. – С. 357-365.

Сведения об авторах:

Сизо Алан Анзорович – аспирант;

Литвинов Артем Евгеньевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической механики и специальных машин имени профессора А.А. Петрика.

РАЗРАБОТКА НОВОГО ТИПА КОНСТРУКЦИИ МАГНИТНОГО ВИБРОГАСИТЕЛЯ ДЛЯ ОТРЕЗНЫХ СТАНКОВ

Сизо А.А., Литвинов А.Е.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: отрезная пила, виброгаситель, снижение шума, схема устройства, новый тип конструкции, резание, нагружение.

Аннотация. В данной работе представлен новый тип конструкции магнитного виброгасителя для отрезных круглопильных станков. Основная цель проекта – снижение шума и повышение устойчивости режущего инструмента отрезного станка путем внедрения магнитной индукции. Магниты равно удаляются друг от друга одноименными полюсами навстречу, тем самым оказывая давление на режущий инструмент.

DEVELOPMENT OF A NEW TYPE OF MAGNETIC VIBRATION DAMPER DESIGN FOR CUTTING MACHINES

Sizo A.A., Litvinov A.E.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: cutting saw, vibration damper, noise reduction, device diagram, new type of construction, cutting, loading.

Abstract. This paper presents a new type of magnetic vibration damper design for circular saw cutting machines. The main goal of the project is to reduce noise and increase the stability of the cutting tool of the cutting machine by introducing magnetic induction. The magnets are equally removed from each other by the poles of the same name towards each other, thereby exerting pressure on the cutting tool.

Существующие на сегодняшний день конструкции отрезных станков позволяют решить проблему снижения вибраций. Это происходит путем механического обжимания пилы демпфирующими элементами, которые эффективно гасят возникающие в процессе резания вибрационные волны. Однако минусом таких узлов являются потери на трение качения в процессе обкатки демпфирующих роликов по полотну пилы. Так же при этом процесс обкатки сопровождается проскальзыванием, что также ведет к потере энергии, что в свою очередь, отражается в КПД данного узла и станка в целом. При этом, как и любых подвижных сопряжений происходит износ по поверхностям сопряжения вследствие чего появляются люфты, и теряется жесткость конструкции, а также усилие прижима роликами полотна пилы. Результатом такого износа является снижение эффективности гашения возникающих в процессе резания вибрационных волн узлом виброгашения, который в свою очередь по мере износа сам становится источником вибрации и шума. Таким образом, решением данной проблемы может быть обжимание пилы линиями магнитной индукции от одноименных магнитов, что в свою очередь позволит избежать сопряжения между узлом виброгашения и полотном пилы и как следствие повышением КПД узла и станка в целом, а также сохранением характеристик по гашению возникающих вибраций на протяжении всего времени работы узла. Благодаря этому, ещё больше снижается шум, повышается устойчивость режущего инструмента и улучшается качество реза [1].

Разрабатываемый узел-виброгаситель нового типа для отрезных станков прерывистого резания с применением постоянных магнитов позволит снизить возникающие в процессе работы станка вибрации и шум за счет влияния магнитных полей на частоту и амплитуду колебаний режущего инструмента, а также увеличить его стойкостные характеристики и качество резания. Кроме того, полное устранение физического контакта (поверхностей сопряжения режущего инструмента с рабочими органами стабилизирующего узла) компонентов узла (полное исключение трения) повышает КПД не только виброгасителя, но и всего станка в целом. Помимо прочего, снижение амплитуды колебаний режущего инструмента способствует уменьшению ширины пропила, тем самым сокращается расход материала (увеличивается эффективность процесса резания). Отсутствие всякого трения делает стабилизирующий узел предлагаемой конструкции неподверженным износу, что обеспечивает как неизменность со временем эксплуатационных характеристик, влияющих на виброгашение в процессе резания, так и удешевление процесса обслуживания техники. Также с данным виброгасителем можно использовать режущий инструмент всех возможных размеров, подходящих к станку, на котором установлен узел [2]. Помимо сказанного, использование предлагаемого узла позволит снизить стоимость производства конечной детали и изделия в целом не только за счёт экономии материала, поскольку качественный пропил, обеспечиваемый точным позиционированием инструмента магнитным виброгасителем, позволит сократить количество последующих операций по подготовке поверхности распила в качестве базовой плоскости, направленных на обработку заготовки, как минимум исключить черновую обработку при подготовке плоскости распила. Кроме того, отсутствие необходимости обслуживать данный узел

позволит сократить издержки производства – исключить простои станка, необходимые для проведения обслуживания узла-виброгасителя [3].

На рисунке 1 изображена предлагаемая конструкция. Станок состоит из: защитного кожуха 1, дисковой пилы 2, направляющих с ограничителями и пружинами 3, двухслойных магнитных пластин 4, регулировочного винта 5.

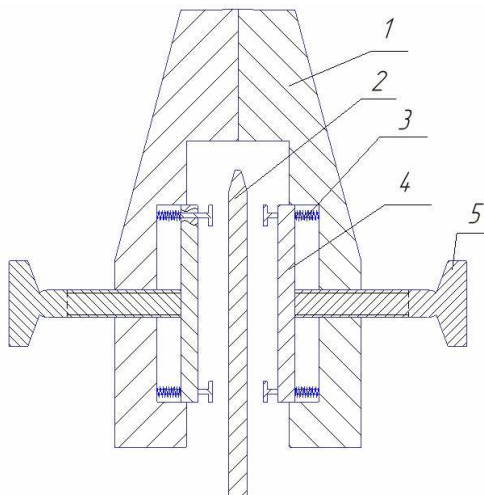


Рис. 1. Магнитный виброгаситель

Работает станок следующим образом. В процессе работы дисковая пила 2, установленная в защитном кожухе 1 и плотно прижимаемая, за счет направляющих с ограничителями и пружинами 3, двухслойными магнитными пластинами 4, также имеющими возможность регулировки под нужный размер при помощи регулировочного винта 5. За счет установки магнитов одноименными полюсами друг к другу и равноудалёнными от пилы с магнитной энергией 350-450 кДж/м³ происходит снижение звукового давления в самом источнике возникновения. Кроме того, значительный вклад в снижение шума и вибрации в самом источнике их возникновения, т.е. в системе "инструмент-заготовка", вносит конструкция защитного кожуха, который выполнен полым, заполненным внутри специальным шумовибропоглощающим составом. Кроме того, на внешние стенки кожуха нанесено специальное звукопоглощающее покрытие [4].

Таким образом, использование магнитного виброгасителя позволяет повысить КПД станка, эффективность процесса резания, устойчивость режущего инструмента и улучшить качество реза. Кроме того, снижение вибрации и шумового фона позволяет улучшить условия труда операторов на данном оборудовании, чем обеспечивается снижение количества брака на предприятии.

Финансовая поддержка. Работа поддержана Советом по грантам Президента Российской Федерации (Свидетельство № МК-6201.2018.8).

Список литературы

1. Литвинов А.Е., Сизо А.А. Повышение эксплуатационных характеристик круглопильных отрезных станков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. Материалы Международной научно-технической конференции. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2023. – С. 48-49.
2. Сизо А.А., Литвинов А.Е., Бузько В.Ю., Чукарин А.Н. Характеристики защитных углеродистых пленок, нанесенных магнетронным напылением на быстрорежущие стали М42 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 9. – С. 361-366.
3. Сизо А.А., Литвинов А.Е., Клепиков Д.А., Фомин А.Н. Разработка способа нанесения износостойких наноструктурированных покрытий с высокой адгезией на поверхность режущего инструмента отрезных станков // Механика, оборудование, материалы и технологии. Электронный сборник научных статей по материалам международной научно-практической конференции. – Краснодар: ООО «ПринтТерра», 2022. – С. 245-250.
4. Авакян А.А., Литвинов А.Е., Морозкин И.С. Моделирование шумообразования тонких пил // Вестник Донского государственного технического университета. – 2011. – Т. 11, № 6(57). – С. 897-900.

Сведения об авторах:

Сизо Алан Анзорович – аспирант;

Литвинов Артем Евгеньевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической механики и специальных машин имени профессора А.А. Петрика.

КОМПЛЕКТОВАНИЕ ПАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ МЧС РОССИИ

Сладкова Л.А., Хоцеловский С.Е.

Российский университет транспорта (МИИТ), Москва

Ключевые слова: комплектование, ликвидация последствий, техногенные катастрофы, производственная функция, эксплуатационные показатели, финансирование.

Аннотация. В данной статье предложена математическая модель комплектования парка строительных и дорожных машин в подразделениях чрезвычайных ситуаций (ЧС) при ликвидации их последствий из числа машин, находящихся на подотчете в различных строительных, дорожных и смежных организациях. Предложенная математическая модель построена при достижении наибольшей эффективности ведения работ, т.е. из условий эквивалентности мощности группы машин и оборудования с «мощностью» объема разрушений. Это позволяет сократить время на принятие решений, упростить процесс координации и управления операциями, а также осуществлять оптимизацию использования имеющихся ресурсов и средств.

MANNING THE FLEET OF CONSTRUCTION AND ROAD MACHINES IN THE UNITS OF THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS OF RUSSIA

Sladkova L.A., Khotselovsky S.E.

Russian University of Transport (MIIT), Moscow

Keywords: recruitment, elimination of consequences, man-made disasters, production function, operational indicators, financing.

Abstract. This article proposes a mathematical model for completing the fleet of construction and road machines in emergency situations (ES) units during the elimination of their consequences from among the machines that are under the report of various construction, road and related organizations. The proposed mathematical model is built when the highest efficiency of work is achieved, i.e. from the conditions of equivalence of the power of a group of machines and equipment with the "power" of the volume of destruction. This reduces decision-making time, simplifies coordination and management of operations, and optimizes the use of available resources and tools.

Устранение последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера – это сложная многопараметрическая задача, одной из которых является комплектование наземных транспортно-технологических средств из числа строительной и дорожной техники. Актуальность этого исследования обусловлена необходимостью разработки методики автоматического формирования комплекта таких машин, которые позволят оперативно и эффективно устранять последствия чрезвычайных ситуаций. В результате внедрения автоматического управления сокращается время на принятие решений, упрощается процесс координации и управления операциями, а также осуществляется оптимизация использования имеющихся ресурсов и средств.

Части и формирование МЧС России при ликвидации последствий разрушений строительных объектов в результате техногенных катастроф, ориентируются на изменяемые объемы работ, их финансирование и сроки выполнения, что требует гибкого подхода к составлению реальных планов и выполнения конкретно планируемых работ. Учитывая, что численность парка строительной и дорожной техники в подразделениях ЧС ограничена, возникает проблема рационального распределения машин, имеющихся в наличии по объектам строительных работ и подрядным организациям.

На стадии планирования производства работ при ликвидации последствий ЧС потребность в строительных и дорожных машинах целесообразно определять, исходя из:

- объемов работ;
- нормативным показателям использования машины (по времени, производительности, трудозатратам, стоимости и т.д.).

Кроме того, расширение географии из-за размеров территории Российской Федерации (1/6 часть суши Земли) и видов строительных объектов (жилые, промышленные и специального назначения) ведут к необходимости корректировки номенклатуры и типоразмеров строительных, дорожных машин и оборудования в зависимости от сферы их использования. При этом необходимо учитывать ускорение темпы сменяемости моделей машин и, главное, темпа выполнения аварийно-спасательных работ.

Известно, что один и тот же, например, строительный-монтажный комплекс насыщен различными машинами, комплектами и комплексами машин, отличных друг от друга как принципом работы, так и конструктивно-техническими параметрами [1-4].

Исходя из изложенного, целью данной статьи является разработка модели комплектования парка техники для ликвидации последствий ЧС, например, техногенного характера, который по статистическим показателям встречается наиболее часто [5]. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать методы комплектования и использования средств механизации и автоматизации;

2) разработать системный подход к выработке оптимальных решений на основе экономико-математических методов и моделей.

Ожидаемый результат будет заключаться в следующем:

- 1) в повышение эффективности, точности и объективности принимаемых решений;
- 2) в сведении к минимуму элементов субъективизма и ошибок.

Очевидно, что задача комплектования парка СДМ, в подразделениях МЧС России, является в основном задачей планирования и управления. При этом необходимо обосновано установить основные тенденции эксплуатации используемых машин.

Наибольшее значение и распространение получили математические модели в силу их универсальности и строгости.

Для комплектования парка машин необходимо использовать современные методы исследований, одним из которых является моделирование. При этом создаваемая модель парка машин должна содержать характеристики, подлежащие изучению и прогнозированию.

Следует отметить, что модель должна иметь объективное подобие с исследуемой системой. Математическая модель позволяет исследовать происходящие процессы при варьировании различных параметров, условий и ограничений.

При комплектовании парка техники двойного назначения (строительные и дорожные машины) в подразделениях ЧС необходимо придерживаться следующего алгоритма:

- 1) постановка задачи;
- 2) создание формализованной схемы;
- 3) построение модели;
- 4) исследование модели;
- 5) оценка модели и ее реализация.

Принципиальная модель формализованной схемы приведена на рисунке 1.

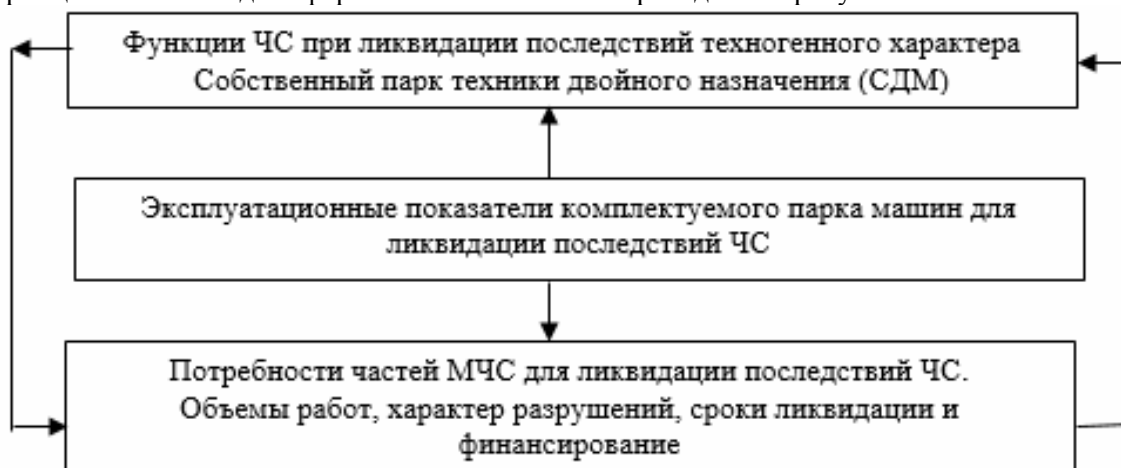


Рис. 1. Принципиальная модель подразделения ЧС

При построении модели комплектования парка в подразделениях ЧС отправной позицией должны являться потребности в различных видах техники в зоне ЧС численность которых определяется исходя из:

- объема и видов работ (наличие людей под завалами);
- сроки выполнения, которые определяются важностью в экономике страны разрушенного (поврежденного) объекта;
- объемы финансирования;
- прочие.

Естественно, что потребности в свою очередь определяют различные производственные функции, задействованные на работах, а именно:

- состав парка, который определен видами проводимых работ и их объемом;
- эксплуатационные показатели машин (мощность, производительность, типоразмер, уязвимость машины, коэффициенты использования и пр.);

В свою очередь последние показатели напрямую связаны с потребностями подразделений ЧС и его выполняемыми функциями.

Показатели, представленные на рисунке 1 модели, могут быть связаны как функциональной, так и корреляционной зависимостью вида:

$$П \longrightarrow f(Пр, Э), \quad (1)$$

где Π – потребность подразделения ЧС для ликвидации последствий техногенного характера; Πp – производственная функция техники; Θ – эксплуатационный показатель.

Здесь каждый показатель можно представить в виде:

$$\Pi = f(\Pi p) = \Phi(\Pi, \Theta); \Theta = \theta(\Pi, \Pi p). \quad (2)$$

В свою очередь потребность строительного производства является функцией, зависящей напрямую от «заказа», т.е.

$$\Pi = \eta(V; T; \Phi). \quad (3)$$

Здесь V – объемы выполняемых работ; T – время отведенное на устранение последствий ЧС; Φ – объемы финансирования.

Очевидно, что изменение одного из показателей в зависимости (2) приведет к изменению производственной функции потребности подразделений ЧС.

Все указанные выше показатели являются информационным обеспечением модели. Значение потребности предприятия «П» принимаются по данным сформированного портфеля заказов предприятия (эксплуатирующей или подрядной организация), поступивших заявок от потребителей (подразделений ЧС) на каждый вид выполняемых работ при проведении работ по ликвидации последствий ЧС.

В систему ограничений модели целесообразно включать те виды техники, которые являются необходимыми для ликвидации последствий ЧС. Это позволит снизить трудоемкость вычислительных операций и ускорить процесс принятия решения.

Рассмотрим функционал, представленный зависимостью (1) как целевую функцию максимумом которой является производственная мощность, необходимая для ликвидации последствий ЧС. В данном случае производственная мощность представляет собой величину максимальную возможного объема ликвидации последствий в единицу времени, которое является фиксированной величиной. В этом случае важно проводить комплектование парка строительных и дорожных машин (СДМ), исходя из рационального распределения техники в зависимости от объемов разрушений.

Для достижения наибольшей эффективности ведения работ необходимо, чтобы состав комплекта СДМ, т.е. мощность группы машин и оборудования была эквивалентна «мощности» объема разрушений. В общем виде сказанное выше можно представить в виде следующей модели:

$$\begin{cases} x_j \geq N_j \quad (j = 1, 2, \dots, n), \\ \sum_{j=1}^n a_j x_j \leq b_i, \\ \sum_{j=1}^n a_j x_j <> b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m), \\ z = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max, \end{cases} \quad (4)$$

где x_j – объем i -го разрушения; N_j – договоры на работы по работе на i -м объекте; b_i – величина ресурсов ведущего вида СДМ; a_i – норма времени ведущих видов СДМ на ликвидацию последствий ЧС i -го объекта; c_i – стоимость реализации i -го объекта; z – единичные затраты.

Для оптимального планирования парка СДМ необходимо провести:

- 1) выбор критерия эффективности плана;
- 2) масштабы и степень детализации модели;
- 3) очередность принятия решения и использования результатов решения.

При этом в структуру каждого вида затрат входят затраты по выплате заработной платы работающим за время ведения работ, амортизации использованных технических средств, стоимость израсходованных материалов. При оценке возможного ущерба может быть принято равным количеству безвозвратных и санитарных потерь производственного персонала, находящегося в зданиях, которые могут получить сильные и полные разрушения.

Список литературы

1. Хасанов И.Х., Рассоха В.И., Марков Д.А., Алтухов А.А., Марышев Д.В. Анализ материально-технического обеспечения производственно-хозяйственной деятельности автотранспортного предприятия // Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XVI международной научно-практической конференции. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 541-545.
2. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части

- воздействия климатических факторов внешней среды.– Введ. 01.07.1971 – М.: Стандартиформ, 2010. – 57 с.
3. Зорин В.А., Нгуен Чонг Минь. Прогнозирование остаточного ресурса гидромоторов строительных машин по результатам имитационного моделирования // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2023. – № 3. – С. 15-19. – DOI: 10.31044/1684-2561-2023-0-3-15-19.
 4. Капустин В.В. Экспертиза и оценка стоимости транспортных средств. – Минск: Беларуская навука, 1998. – 101 с.
 5. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году». – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. – 365 с.
 6. Приказ МЧС России от 01.10.2020 N 737 Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий / URL: <https://perevozka24.ru/pages/galichskiy-avtokranovyy-zavod-glavnyy-postavschik-spasatel'nogo-oborudovaniya-?ysclid=lsojyixgy185524999>.
 7. Кожара В.И., Кулаков В.А. Научно-методические основы прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – СПб.: СПбГТУ, 2002. – 71 с.

Сведения об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – д.т.н., профессор;

Хоцеловский Степан Евгеньевич – аспирант.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ ДРУГ НА ДРУГА, НА ПРЕДМЕТЫ В РАЗЛИЧНЫХ ТОЧКАХ СОПРИКОСНОВЕНИЯ

Сизо А.А., Литвинов А.Е.

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: постоянный магнит, индукция, магнитное поле, намагниченность, магнитная сила, отталкивание, притяжение, металлический диск.

Аннотация. В данной работе изучается влияние магнитных полей друг на друга. Представлены различные возможные положения магнитов. Рассмотрено влияние магнитного излучения на металлический диск, установленный между магнитами, обращенными одинаковыми полюсами друг к другу. Представлены принципиальные схемы расположения магнитов относительно друг друга с изображением действия сил магнитной индукции.

THE STUDY OF THE INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELDS OF PERMANENT MAGNETS ON EACH OTHER, ON OBJECTS AT DIFFERENT POINTS OF CONTACT

Sizo A.A., Litvinov A.E.

Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: permanent magnet, induction, magnetic field, magnetization, magnetic force, repulsion, attraction, metal disk.

Abstract. In this paper, the influence of magnetic fields on each other is studied. Various possible positions of magnets are presented. The effect of magnetic radiation on a metal disk mounted between magnets facing the same poles to each other is considered. Schematic diagrams of the arrangement of magnets relative to each other with an image of the action of magnetic induction forces are presented.

Постоянный магнит представляет собой изделие высокой остаточной магнитной индукции, способное сохранять намагниченность долгое время. Как правило, такие магниты изготавливают из железа, никеля и кобальта.

Свою популярность постоянные магниты получили благодаря широкой сфере применения. Их используют в медицине, электротехнике, авиастроении, машиностроении, в электроизмерительных приборах магнитоэлектрической системы и т.д.

Постоянные магниты образуют область, где существует постоянная магнитная сила, действующая на другие магниты или объекты в линиях соприкосновения [1]. Такая область называется магнитным полем. Постоянный магнит имеет два полюса: северный и южный. Магнитные линии магнитного поля направлены снаружи от северного полюса к южному (рис. 1) [2].

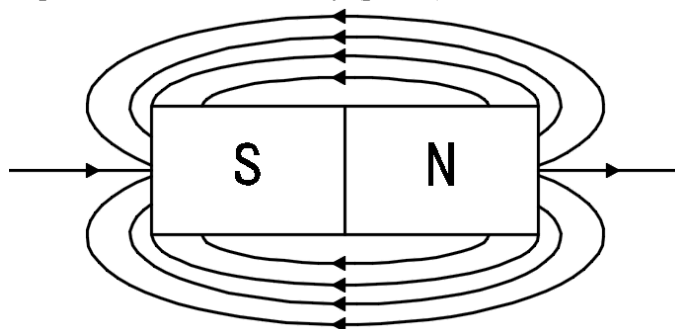


Рис. 1. Направление действия магнитных линий

Исследование и изучение постоянных магнитов в основном направлено на изучение влияния магнитных полей друг на друга и на другие объекты. Взаимодействие магнитных полей проявляется в притяжении или отталкивании магнитов. На рисунке 2 представлены взаимодействия магнитных полей постоянных магнитов при их различном расположении относительно друг друга [3].

При установке металлического диска по линии стыка воздействия магнитных полей постоянных магнитов, расположенных одноименными полюсами друг к другу, диск также будет испытывать силы отталкивания. На рисунке 3 показана схема воздействия магнитного поля на металлический диск [4].

Таким образом, анализируя вышеизложенное, приходим к выводу, что силу отталкивания и давления на металлический диск можно изменять путем регулировки расстояния между магнитами. Чем дальше магниты друг от друга, тем меньше воздействие магнитных полей на диск.

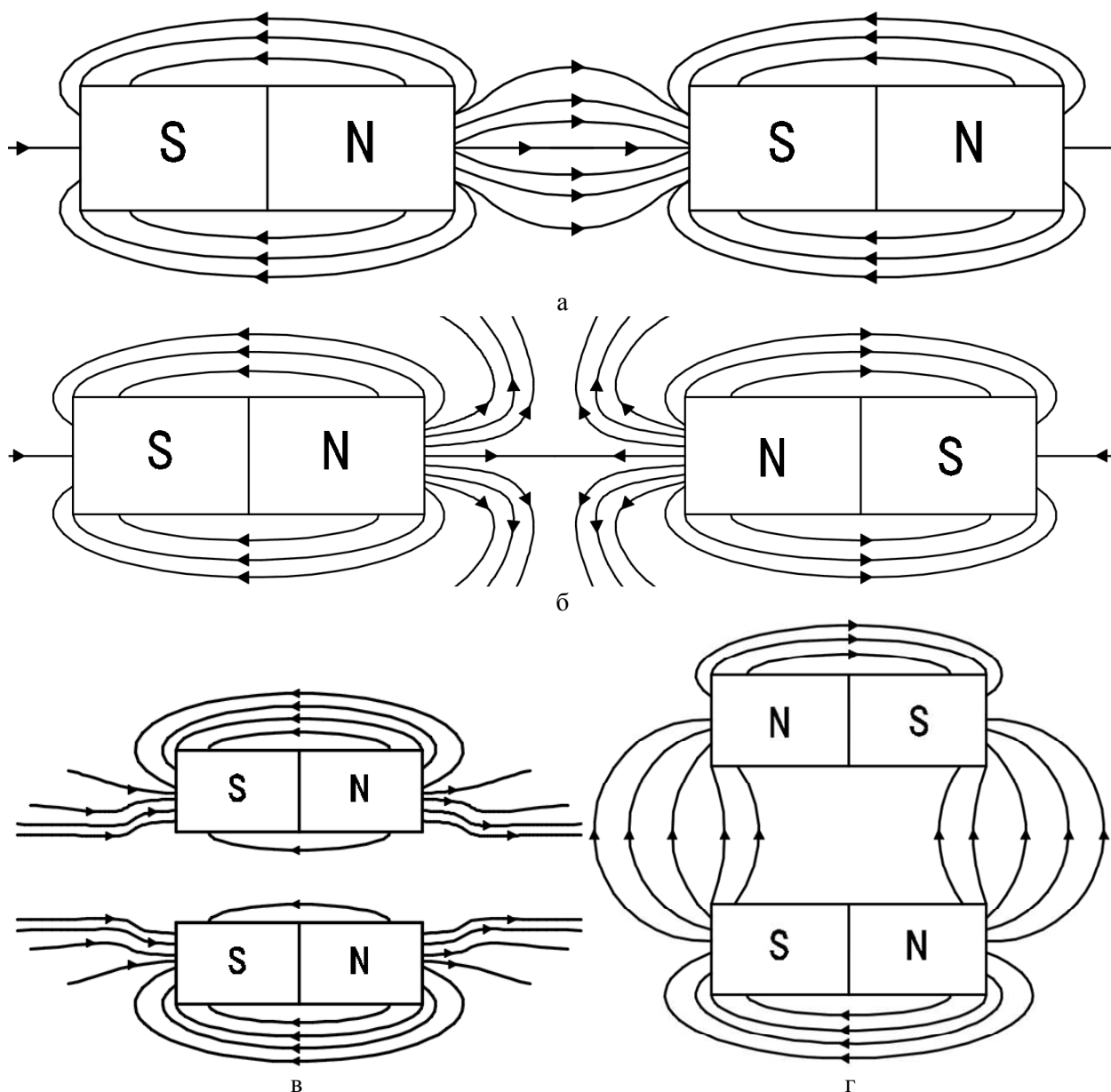


Рис. 2. Вид линий магнитной индукции при взаимодействии двух магнитов

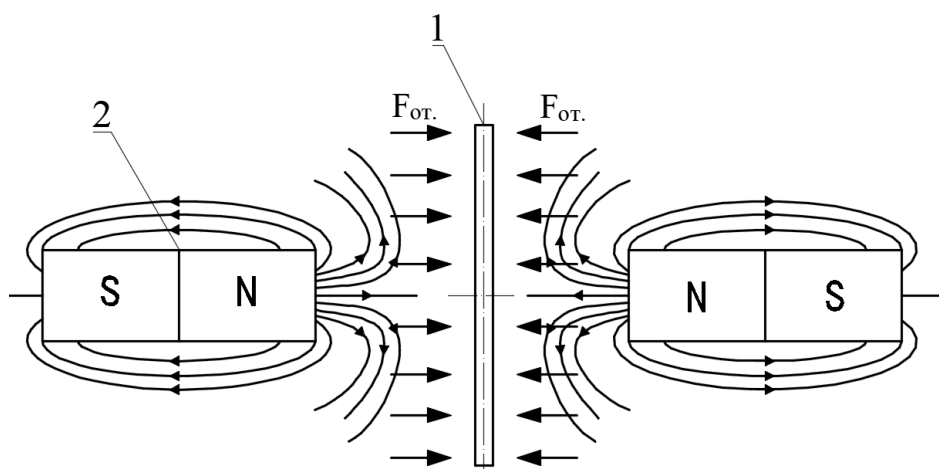


Рис. 3. Действие магнитных полей на металлический диск: 1 – диск; 2 – постоянный магнит

Финансовая поддержка. Работа поддержана Советом по грантам Президента Российской Федерации (Свидетельство № МК-6201.2018.8).

Список литературы

1. Кузьмин Н.И., Батраков А.Ю. Физика магнитных явлений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. – 560 с.
2. Степанищев Б.И. Физика магнитных явлений. – М.: МАКС Пресс, 2012. – 480 с.
3. Литвинов А.Е., Сизо А.А. Повышение эксплуатационных характеристик круглопильных отрезных станков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. Материалы Международной научно-технической конференции. – Могилев: Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования "Белорусско-Российский университет", 2023. – С. 48-49.
4. Сизо А.А., Литвинов А.Е., Бузько В.Ю., Чукарин А.Н. Характеристики защитных углеродистых пленок, нанесенных магнетронным напылением на быстрорежущие стали М42 // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 9. – С. 361-366.

Сведения об авторах:

Сизо Алан Анзорович – аспирант;

Литвинов Артем Евгеньевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической механики и специальных машин имени профессора А.А. Петрика.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА

Кривошеев Н.С., Жарковский А.А., Броднев П.Н.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург

Ключевые слова: пневмогидравлический привод, пневмогидравлика, автоматизация, гидропривод, пневмопривод, пневматика, пневмогидравлический мультипликатор давления.

Аннотация. В данной работе рассматривается задача разработки технического решения для пневмогидравлического привода, анализа и обоснования параметров, для обеспечения эффективной и надежной работы системы. Разработаны рекомендации по выбору типа пневмогидравлического привода, в зависимости от поставленной задачи. Предложены критерии для подбора оборудования и выбора исходных параметров для пневмогидравлических приводов и гидравлических приводов с пневмогидравлическим мультипликатором давления.

STATEMENT OF THE PROBLEM OF DEVELOPING TECHNICAL SOLUTIONS AND JUSTIFYING THE PARAMETERS OF AIR-HYDRO DRIVES

Krivosheev N.S., Zharkovskij A.A., Brodnev P.N.

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: pneumo-hydraulic drive, pneumo-hydraulics, automation, hydraulic drive, pneumatic drive, pneumatics, air-hydro booster.

Abstract. This paper examines the problem of developing a technical solution for a air-hydro drives, analyzing and justifying the parameters to ensure efficient and reliable operation of the system. Recommendations have been developed for choosing the type of air-hydro drive, depending on the task. Criteria are proposed for selecting equipment and selecting initial parameters for air-hydro drives and hydraulic drives with a air-hydro pressure multiplier.

Пневмогидравлический привод представляет собой совокупность элементов объёмных гидравлических и объёмных пневматических приводов, и предназначен, как и данные приводы по отдельности, для передачи механической энергии и преобразования движения. В пневмогидравлическом приводе используется два типа рабочей среды: сжатый газ и капельная жидкость. Часть пневмогидравлического привода, в которой рабочей средой является сжатый газ, будем называть пневматическая секция привода. Аналогично, часть, в которой в качестве рабочей среды используется капельная жидкость – гидравлическая секция привода. Данный тип привода находит достаточно широкое применение в различных областях техники, таких как робототехника, станкостроение, автомобилестроение, прессовое оборудование, пищевая промышленность, а также при оснащении автоматизированных и конвейерных линий.

С точки зрения функциональной схемы гидрофицированного оборудования, пневмогидравлический привод, представляет собой звено между приводным двигателем и исполнительным механизмом. Помимо своего основного назначения – передачи энергии и преобразования движения – пневмогидравлический привод, позволяет осуществлять плавное регулирование скорости исполнительных органов рабочей машины, а также автоматическую защиту всех её элементов от перегрузок.

Обязательными элементами пневмогидравлического привода являются преобразователь энергии сжатого газа в гидравлическую энергию капельной рабочей жидкости и исполнительный гидродвигатель. Источник пневматической энергии может входить в состав привода (например, компрессор, баллон со сжатым газом). Однако, чаще используется магистральный вариант данного привода, при котором используется сжатый газ, чаще всего воздух, забираемый из общей для нескольких потребителей сети.

Идея создания пневмогидравлического привода, как одной системы, включающей элементы обоих этих видов привода, заключается в использовании гидравлического исполнительного механизма со всеми его достоинствами, который обеспечивается рабочей жидкостью от пневмогидравлического преобразователя энергии, использующего для работы сеть сжатого воздуха. Исходной энергией в пневмогидравлических приводах является потенциальная энергия сжатого воздуха, получаемого из компрессорных установок.

Пневмогидравлические приводы являются весьма эффективным средством получения больших усилий выходного звена при использовании сжатого воздуха низкого давления цеховых магистралей (0,4..0,6 МПа).

Гидрофицированные машины, такие как пресса, испытательные стенды, оборудование для пробивки отверстий, гибки металла часто требуют подачи рабочей жидкости под высоким давлением в исполнительный механизм в течение длительных периодов времени [1]. Другим исполнительным механизмам может потребоваться небольшой объем жидкости под высоким давлением в течение

короткого периода времени, в то время как большую часть цикла требуется только низкое давление. Также существуют машины, которые могут использовать пневматические цилиндры для перемещения нагрузки, но для выполнения какой-то одной операции требуется высокое давление, большее давления в пневматической магистрали. Одним из решений таких задач является использование радиально-поршневых насосов высокого давления совместно с насосами низкого давления (как правило, шестеренными или пластинчатыми), но такие гидравлические приводы потребляют большую мощность и могут приводить к перегреву рабочей жидкости [2]. Другим выбором является использование пневмогидравлических приводов.

Создание гидравлических приводов с пневмогидравлическим мультипликатором давления начинается с разработки структурных и конструктивных схем, отражающих принцип действия основных элементов. Дальнейшим этапом является обоснование рациональных параметров рабочих элементов пневмогидравлического привода исходя из его быстродействия и реализации требуемых параметров [3]. Выбор варианта технического решения целесообразно производить на основе типовой схемы гидравлического привода с целью выявления условий для применения пневмогидравлического привода.

Для разработки технического решения и обоснования параметров гидравлического привода с пневмогидравлическим мультипликатором давления на данном этапе необходимо решить следующие задачи.

1. Определение требуемых параметров пневмогидравлического привода. Определение требуемого рабочего давления и расхода рабочей жидкости. Это позволит выбрать подходящий пневмогидравлический мультипликатор давления и дополнительное оборудование.

2. Разработка гидравлической схемы. Необходимо разработать оптимальную гидравлическую схему, включающую в себя пневмогидравлический мультипликатор давления, пневмогидравлические вытеснители, клапанно-распределительную аппаратуру и другие элементы. Схема должна обеспечивать надежность, эффективность и безопасность работы.

3. Выбор оборудования. На основе выбранных параметров и разработанной схемы необходимо осуществить подбор оборудования.

Для проектирования пневмогидравлического привода необходимо учитывать ряд исходных параметров, которые помогут определить оптимальные характеристики системы. Вот некоторые из них.

1. Требования к нагрузке: необходимо определить максимальную силу или момент, который должен развивать привод для выполнения задачи. При этом алгоритм изменения нагрузки может меняться и зависит от конкретной задачи.

2. Скорость движения: необходимо определить необходимую скорость перемещения поршня или другого исполнительного элемента для эффективного выполнения операции.

3. Ход поршня: необходимо определить требуемый ход движения поршня, чтобы выбрать соответствующий размер цилиндра.

4. Рабочее давление: необходимо определить максимальное рабочее давление, которое потребуется для работы привода с учетом нагрузки и условий эксплуатации.

5. Тип управления: необходимо выбрать тип управления приводом (ручное, автоматическое, программируемое и т.д.) и определить необходимые компоненты для этого.

6. Окружающая среда: необходимо учесть условия эксплуатации, такие как температурные изменения, влажность, агрессивные среды, для выбора соответствующих материалов и защитных элементов.

7. Безопасность: необходимо обеспечить соответствие проектируемого привода стандартам безопасности и предусмотреть защитные механизмы.

8. Параметры мультипликатора давления: необходимо выбрать параметры мультипликатора давления для обеспечения величины требуемого рабочего давления.

При проектировании пневмогидравлического привода важно учитывать все эти параметры, чтобы обеспечить оптимальную работу системы в соответствии с поставленными задачами и требованиями.

Заключение. Рассмотрен вопрос возможного сочетания пневматического и гидравлического приводов в станочном оборудовании, предложены рекомендации по выбору типа пневмогидравлического привода. Рассмотрены различные типы пневмогидравлических приводов, определены преимущества и недостатки данного типа приводов.

Список литературы

1. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1967. – 496 с.
2. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник, ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод / под ред. А.А. Шейпака. – М.: МГИУ, 2003. – 352 с.

3. Схиртладзе А.Г., Иванов В.И., Кареев В.Н. Гидравлические и пневматические системы. – Изд. 2-е, доп. – М.: ИЦ МГТУ «Станкин», «Янус-К», 2003. – 544 с.

Сведения об авторах:

Броднев Павел Николаевич – к.т.н., доцент;

Жарковский Александр Аркадьевич – д.т.н., профессор;

Кривошеев Никита Сергеевич – аспирант.

ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЮ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НПС «МУХАНОВО»

Филатова А.А., Самарина О.А.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: вода сточная, нефтепродукты, технология очистки сточных вод, пруд-отстойник, физико-химическая очистка, сорбционная очистка.

Аннотация. В статье представлена проблема очистки сточных вод, содержащих нефть и нефтепродукты. Проведён анализ различных характеристик сточных вод с НПС «Муханово», включая их количественные, качественные, химические и санитарные показатели. Осуществлено дооснащение системы предварительной очистки сточной воды, используя технологию, которая позволяет очистить сток с НПС «Муханово» до уровня рыбохозяйственного назначения.

THE PROBLEM OF WASTEWATER POLLUTION WITH OIL AND PETROLEUM PRODUCTS AND WAYS TO SOLVE IT USING THE EXAMPLE OF THE MUKHANOVO OIL REFINERY

Filatova A.A., Samarina O.A.

Samara State Technical University, Samara

Keywords: wastewater, petroleum products, wastewater treatment technology, settling pond, physico-chemical purification, sorption purification.

Abstract. The article presents the problem of wastewater treatment containing oil and petroleum products. The analysis of various characteristics of wastewater from the Mukhanovo NPP, including their quantitative, qualitative, chemical and sanitary indicators, was carried out. Retrofitting of the wastewater pretreatment system has been carried out using technology that allows to purify the runoff from the Mukhanovo refinery to the level of fishery purpose.

На предприятиях нефтегазовой отрасли образуются сточные воды, загрязненные с высоким содержанием нефтепродуктов. По статистическим данным, на 2023 год на нефтеперерабатывающих заводах образуется около 100 м³ сточных вод. В связи с этим возникает необходимость в разработке технологии очистки нефтесодержащих сточных вод [1].

В данной статье рассматривается нефтеперекачивающая станция «Муханово» (далее – НПС «Муханово»), располагающаяся на юго-востоке Кинель-Черкасского района Самарской области.

На балансе НПС «Муханово» находится пруд-отстойник. Его основной целью является – предварительная очистка от нефтепродуктов и взвешенных (нерастворимых) веществ. Далее сточная вода поступает сторонним организациям для дальнейшей очистки. По результатам инвентаризации за 2023 год на НПС «Муханово» образуется около 40 тыс. м³/год сточных вод. Пробы сточных вод отбираются и анализируются лабораторией НПС «Муханово». Результаты лабораторных исследований сточных вод после предварительной очистки представлены в таблице 1.

Табл. 1. Результаты лабораторных исследований сточных вод после предварительной очистки [2]

Наименование концентрационных показателей сточных вод	Ед. изм.	Исходные концентрационные показатели образующихся сточных вод	Концентрационные показатели на выходе пруда-отстойника	ПДК рыбохозяйственного назначения
Нефтепродукты	мг/л	90,0	37,17	0,05
Взвешенные вещества	мг/л	250,0	75,01	3,0
БПК ₅	мгО ₂ /л	80,0	50,0	3,00
ХПК	мгО ₂ /л	100,0	80,0	30,00
АПАВ, СПАВ	мг/л	1,5	1,5	0,10
Азот аммонийный	мг/л	5,3	5,3	0,40
Азот нитритный	мг/л	0,1	0,1	0,02
Хлориды	мг/л	160,0	160,0	300,00
Сульфаты	мг/л	30,0	30,0	100,00
Фосфор общий	мг/л	0,2	0,2	0,20
Железо общее	мг/л	3,0	3,0	0,10

Анализ таблицы 1 показал, что в сточной воде наблюдается высокое содержание следующих веществ: нефтепродукты, взвешенные вещества, БПК₅, ХПК. В низком содержании варьируется СПАВ, АПАВ, азот аммонийный, азот нитритный и железо общее.

Таким образом, в настоящей статье предлагается дооснастить технологию по очистке сточных вод на НПС «Муханово». Основная цель – очищение сточных вод до соответствующих показателям ПДК рыбохозяйственного назначения.

Предлагается дооснастить блоком физико-химической очистки от нефтесодержащих сточных вод и взвешенных веществ с реагентной обработкой 5% раствора коагулянта для повышения эффективности очистки по взвешенным веществам до 85% и 0,1% раствора флокулянта для повышения эффективности очистки по нефтепродуктам до 60-80%, по ХПК до 50-80%, по БПК₅ до 50-85%, железа до 60%, азотсодержащих соединений до 60-80% [3].

После блока физико-химической очистки сток подается на блок доочистки для удаления из сточных вод взвешенных частиц и многих органических веществ, состоящего из последовательных механического и сорбционных фильтров [4]. В таблице 2 представлены концентрационные показатели стока по ступеням очистки.

Табл. 2. Концентрационные показатели стока по ступеням очистки [2]

Наименование концентрационных показателей сточных вод	Ед. изм.	Концентрационные показатели на выходе пруда-отстойника	Концентрационные показатели после физико-химической очистки	Концентрационные показатели после фильтрования
Нефтепродукты	мг/л	37,17	7,4	0,04
Взвешенные вещества	мг/л	75,01	11,3	2,8
БПК ₅	мгО ₂ /л	50,0	7,5	3,0
ХПК	мгО ₂ /л	80,0	16,0	6,4
АПАВ, СПАВ	мг/л	1,5	0,9	0,09
Азот аммонийный	мг/л	5,3	1,06	0,4
Азот нитритный	мг/л	0,1	0,04	0,012
Железо общее	мг/л	3,0	1,2	0,1

Также для достижения микробиологических и паразитологических показателей необходимо очищенную воду обеззаразить на УФ установке [5].

Технологическая установка предполагает образование очищенных сточных вод, которые могут сбрасываться в ближайший водный объект – река Большой Кинель. Преимущественно стоки должны быть направлены в оборотную систему водоснабжения НПС «Муханово». Таким образом, с экологической точки зрения, данная технология оказывает минимальное негативное воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации». – М: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023. – 684 с.
2. Протокол испытаний №32.2023-ВСК/ВОА от 27.06.2023 «Лаборатория экоаналитического контроля». – Бугуруслан: АО «Транснефть», 2023.
3. Очистка воды коагулянтами / Под ред. Е.Д. Бабенкова. – М.: Наука, 1977. – 355 с.
4. Водоотведение и очистка сточных вод / Под ред. Ю.В. Воронова, С.В. Яковлева. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. – 704 с.
5. Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод ультрафиолетовым излучением: Методические указания. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 1999. – 17 с.

Сведения об авторах:

Филатова Анна Алексеевна – студент;

Самарина Оксана Алексеевна – к.т.н., доцент.

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ С ПОЛУЧЕНИЕМ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Замалиева А.М., Тупицына О.В.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, нефтешлам, вторичные материальные ресурсы, технология утилизации нефтешлама, реагентный метод, гидрофобизирующая добавка.

Аннотация. В статье представлена проблема обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов. Установлена возможность экологически безопасного использования продуктов утилизации нефтесодержащих отходов в качестве вторичных материальных ресурсов, описана методика получения бетонов, изготовленных с использованием отработанных нефтешламов в качестве гидрофобизирующих добавок, что позволит улучшить качество бетонных конструкций гидротехнического назначения.

ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY WHEN DISPOSAL OF OIL AND GAS WASTE WITH OBTAINING SECONDARY MATERIAL RESOURCES

Zamalieva A.M., Tupitsyna O.V.

Samara state technical university, Samara

Keywords: oily waste, oil sludge, secondary material resources, oil sludge utilization technology, reagent method, hydrophobic additive.

Abstract. The article presents the problem of neutralization and disposal of oily waste. The possibility of environmentally safe use of oil-containing waste disposal products as secondary material resources has been established, a method for obtaining concretes made using spent oil sludge as hydrophobic additives has been described, which will improve the quality of concrete structures for hydraulic engineering purposes.

Проблема обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов в последнее время приобрела особую значимость в связи со значительным объемом их образования, накопления и ужесточения законодательства в области охраны окружающей среды [1]. Вредное воздействие обусловлено большим разнообразием химических веществ, обладающих высокой токсичностью. Накапливаясь, они меняют геохимические, геомеханические и биологические процессы геоэкологической среды.

Решить данную проблему возможно, начав с поиска оптимальных методов и технологических решений по использованию данных отходов в качестве материального ресурса [1].

Приоритетные направления регулирования системы обращения с данными видами отходов представлены на рисунке 1.

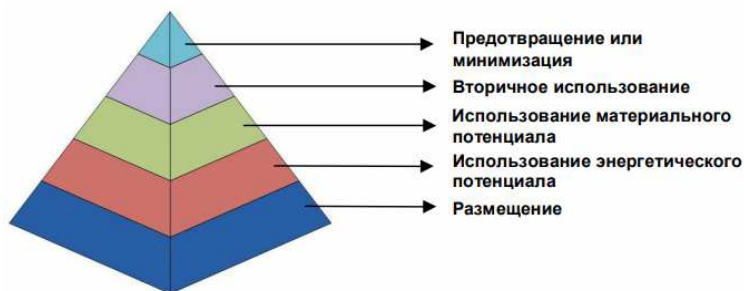


Рис. 1. Приоритетные направления регулирования системы обращения с нефтесодержащими отходами

Одними из наиболее распространенных загрязнителей в нефтяной отрасли являются нефтешламы. Они могут образовываться в нефтяных амбарах, отстойниках нефтеперерабатывающих заводов, нефтебаз, являются отходами химической и нефтехимической промышленности, включая отработанные масла.

Наиболее эффективным способом получения вторичного сырья из нефтесодержащих отходов является реагентный метод обезвреживания и утилизации нефтешламов. Продукты утилизации нефтешлама возможно использовать в производстве бетонных конструкций гидротехнического назначения в качестве гидрофобизирующих добавок [2]. Гидрофобизирующие добавки увеличивают связность бетонных смесей их нерасслаиваемость. Кроме того, объемная гидрофобизация бетона добавками способствует снижению его водопоглощения в 1,5-2 раза по сравнению с бетоном без добавок.

В качестве гидрофобизирующих добавок предложено использовать продукт утилизации нефтешлама – композиционный материал, который представляет собой мелкодисперсный порошок, который можно рекомендовать в качестве мелкого заполнителя в бетоны.

Процесс приготовления бетонной смеси состоит из дозирования ингредиентов и их перемешивания. Введение гидрофобизирующей добавки не требует приобретения дополнительного оборудования для блока подачи добавки в смеситель, так как оборудование для хранения, просева и дозирования добавки является стандартным на заводах по производству изделий из бетона.

Блок-схема комплексного процесса производства бетонных работ представлена на рисунке 2.

Введение добавки в производственную линию осуществляется на стадии смешения компонентов песчано-цементной смеси. Для дозирования возможно использование бункера дозатора.

Для приготовления бетонной смеси используют бетоносмесители непрерывного и периодического действия. В бетоносмесители периодического действия загружают необходимые дозы исходного сырья, которые перемешивают и выгружают. Продолжительность замешивания бетонного раствора зависит от объема барабана и подвижности перемешиваемой массы.

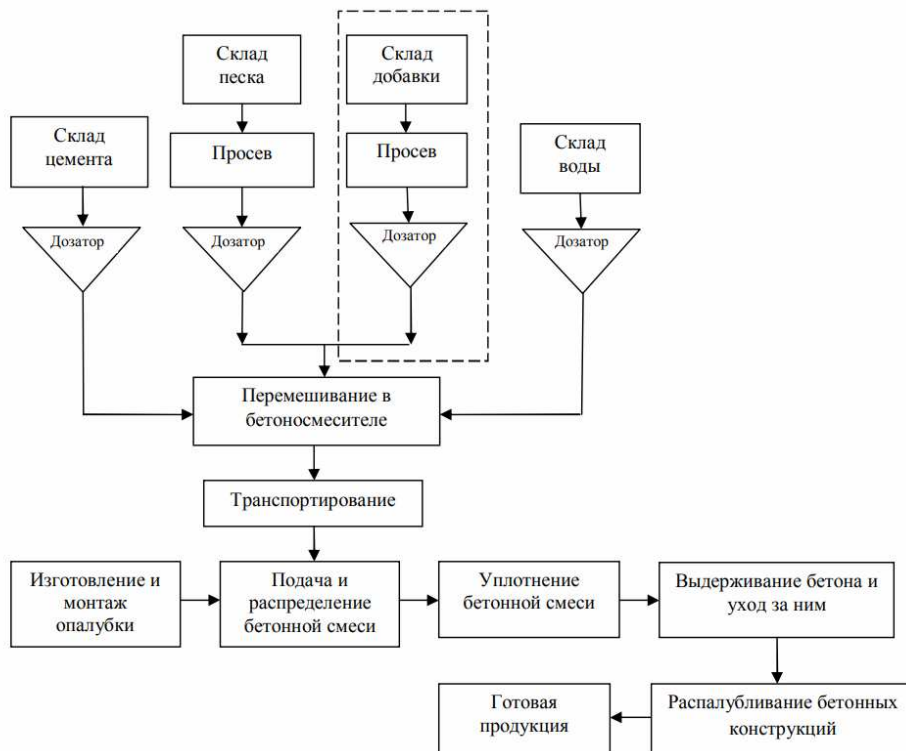


Рис. 2. Блок-схема производства бетона

Транспортирование бетонной смеси включает в себя доставку ее от места приготовления на строительный объект, подачу смеси непосредственно к месту укладки и распределения по блоку бетонирования. Смесь укладывают горизонтальными слоями толщиной 30-50 см по всей площади бетонируемой части сооружения (блока). При этом все слои укладывают в одном направлении, одинаковой толщины, непрерывно на всю высоту и тщательно уплотняют [3].

Список литературы

1. Нефтедержавные отходы как полезный ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://energypolicy.ru/neftesoderzhashhie-othody-kak-poleznyj/neft/2020/13/20/>
2. Применение продуктов утилизации тяжелых нефтяных отходов в качестве гидрофобизирующих добавок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ecology-kalvis.ru/jour/article/view/1253>
3. Процессы бетонных и железобетонных работ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sbh.ru/articles/art2_1.htm

Сведения об авторах:

Замашева Алия Маратовна – студент;

Тупицына Ольга Владимировна – д.т.н., доцент.

СТРУКТУРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ УСТАНОВКИ ПРОИЗВОДСТВА АЗОТА АО «КНПЗ»

Фадеев Д.В., Тупицына О.В.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: система мониторинга инженерных систем, сбор информации, передача информации, автоматизированная система управления, протокол, сжатие данных.

Аннотация. В статье представлена проблема систем мониторинга инженерных систем на нефтеперерабатывающем производстве. Проведён анализ различных систем мониторинга инженерных систем на АО «КНПЗ», включая их количественные, качественные и технологические показатели. Осуществлена модернизация системы сбора и передачи данных, а также системы связи и управления в кризисных ситуациях.

STRUCTURED MONITORING SYSTEM FOR ENGINEERING SYSTEMS OF THE NITROGEN PRODUCTION PLANT OF JSC KNPZ

Fadeev D.V., Tupitsyna O.V.

Samara State Technical University, Samara

Keywords: engineering systems monitoring system, information collection, information transmission, automated control system, protocol, data compression.

Abstract. The article presents the problem of monitoring systems of engineering systems in the oil refining industry. The analysis of various monitoring systems of engineering systems at JSC KNPZ, including their quantitative, qualitative and technological indicators, was carried out. The modernization of the data collection and transmission system, as well as the communication and management system in crisis situations has been carried out.

На предприятиях нефтегазовой отрасли нередко случаются происшествия, сопровождающиеся большими ущербами как технологическим процессам, так и здоровью работников. В большинстве случаев из-за несвоевременного реагирования на происшествие, ущерб становится колоссальным. В связи с этим возникает необходимость во внедрении и модернизации систем мониторинга инженерных систем (далее – СМИС) на производстве [1].

В данной статье рассматривается установка производства азота акционерного общества «Куйбышевский нефтеперерабатывающий завод» (далее – АО «КНПЗ»), располагающаяся в Куйбышевском районе г. Самары.

Техническая документация разработана в соответствии с действующими нормами, правилами, инструкциями и государственными стандартами. В данной статье предусматриваются технические решения по внедрению и модернизации системы мониторинга инженерных систем установки производства азота, состоящая из двух подсистем: система сбора данных и передачи сообщений, система связи и управления в кризисных ситуациях [2].

Схема обмена между основными серверами СМИС в централизованном пункте управления N1 (далее ЦПУ №1) и объектовыми серверами будет реализована посредством Pi to Pi interface по собственному протоколу OSISoft Pi, поддерживающему переживание и сжатие данных.

PI to PI-интерфейсы обеспечивают:

- получение и запись данных от SCADA, DCS, контроллеров в режиме реального времени по событиям или расписанию с дискретностью до миллисекунды;
- автоматическое оповещение о нарушении физической связи PI-сервера и PI-интерфейса;
- автоматическое восстановление данных при восстановлении связи;
- сжатие данных для снижения трафика в локальной сети.

Структурная схема система сбора и передачи данных СМИС изображена на рисунке 1.

Система связи и управления в кризисных ситуациях обеспечивает на объекте гарантированную устойчивую телефонную связь между оперативно-спасательными службами, специальными формированиями, а также со штабом по ликвидации ЧС [3].

Телефонные розетки в помещениях должны устанавливаться по месту в зависимости от расположения коммуникаций и оборудования [4].

Шкаф телефонный распределительный должен устанавливаться в помещениях аппаратной. Следует подключить данный шкаф к центральному распределительному шкафу, расположенному в здании ЦПУ №1.

Структурная схема подключения телефонной связи изображена на рисунке 2.

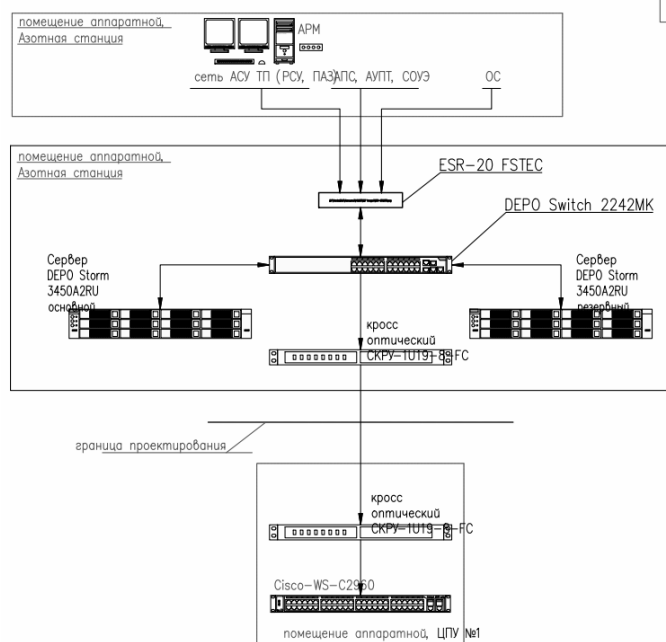


Рис. 1. Структурная схема системы сбора и передачи данных

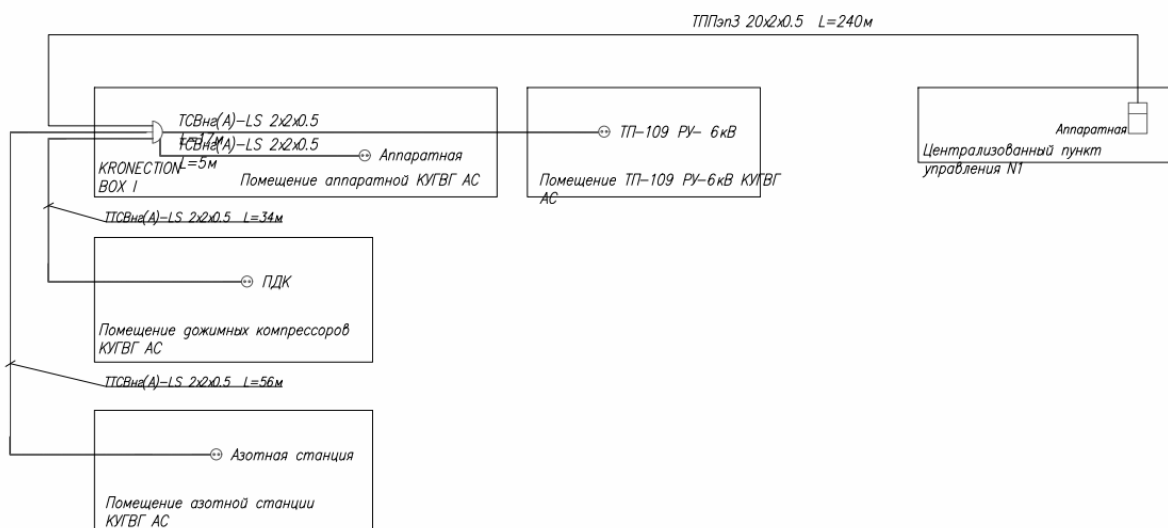


Рис. 2. Структурная схема подключения телефонной связи

Стоит отметить, что телефонные розетки следует использовать накладного монтажа. Телефонные аппараты монтировать на стену, на высоту удобную для эксплуатации. Прокладку кабеля по зданию следует выполнять в жесткой гладкой трубе ПОЛИВИНИЛХЛОРИД.

Список литературы

1. ГОСТ 22.1.13-2013. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Требования к порядку создания и эксплуатации. – 2013. – 4 с.
2. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. – 2005. – 8 с.
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 августа 2005 г. № 1314-р «Концепция федеральной системы мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов».
4. ГОСТ Р 22.0.05-2020. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – 2020. – 1 с.

Сведения об авторах:

Фадеев Даниил Владимирович – студент;

Тупицына Ольга Владимировна – д.т.н., заведующая кафедрой.

КРИТЕРИИ ПОДБОРА СКВАЖИН-КАНДИДАТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Лушников Н.Н.

АО «Белкамнефть» им. А.А. Волкова, Ижевск

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, гидроразрыв пласта, дебит, метод интенсификации притока, добыча нефти.

Аннотация. На настоящий момент выбор скважин для реализации гидроразрыва пласта не имеет достоверно-эффективного алгоритма. Подбор скважин проводится путем оценок синтетических и дискретных моделей коллектора на основе керновых анализов керновых материалов, моделей процесса гидроразрыва пласта. Последние, в виду ряда особенностей при описании процесса имеют упрощенную модель в результате ограничений учета сопутствующих технологических, геологических и промысловых особенностей индивидуальных характеристик скважины.

CRITERIA FOR SELECTING CANDIDATE WELLS FOR HYDRAULIC FRACTURING IN THE FIELDS OF THE UDMURT REPUBLIC

Lushnikov N.N.

JSC Belkamneft named after A.A. Volkova, Izhevsk

Keywords: hydraulic fracturing, hydraulic fracturing, hydraulic fracturing, flow rate, stimulation method, oil production.

Abstract. At the moment, the selection of wells for hydraulic fracturing does not have a reliable and effective algorithm. Well selection is carried out by evaluating synthetic and discrete reservoir models based on core analysis of core materials, models of the hydraulic fracturing process. The latter, due to a number of features when describing the process, have a simplified model as a result of restrictions on taking into account the accompanying technological, geological and field characteristics of the individual characteristics of the well.

Нефтяные месторождения Удмуртской республики приурочены к осложненным, представлены литолого-фациально расчлененными коллекторами, многопластовых месторождений. Находясь на завершающей стадии разработки, остаточные запасы которых приурочены к коллекторам с низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС), при невысоких мощностных характеристиках [1].

Для грамотной выработки запасов и стабильной добычи нефти необходимо применение геолого-технических мероприятий (ГТМ), наиболее эффективных по интенсификации и доработке. Одним из таких методов, является гидроразрыв пласта (ГРП) на наклонно-направленных скважинах, за счет дренирования продуктивного пласта в результате образования распространенной сети трещин в продуктивном коллекторе.

Проведение успешного гидроразрыва пласта (ГРП) по-прежнему является сложной задачей. Благодаря высокой финансовой отдаче, процедура гидроразрыва пласта часто используются на начальном этапе эксплуатации скважины, а также при недостижении желаемого уровня добычи для достижения планируемого эффекта. В большинстве случаев, после проведения первой успешной операции ГРП, при снижении уровня продуктивности до определенного уровня экономической рентабельности в большинстве случаев могут быть подвержены гидроразрыву пласта повторно. При рассмотрении процесса гидроразрыва пласта, для успешного планирования и реализации необходимо детальное проектирование следующих этапов:

- подбор скважин-кандидатов;
- дизайн планируемого ГРП, обработка его в существующей модели;
- планирование операции, выбор технологии реализации и расчет объемов;
- выполнение полевых работ по ГРП.

На этапе ранжирования скважин-кандидатов при проведении ГРП на месторождениях Удмуртской республики при выборке скважин, выделены основные критерии (рис. 1), установленных с учетом особенностей месторождения и полученных промысловых данных.

При статистическом анализе и составлении корреляций их успешности выделен ряд основных геологических критериев от прироста дебита жидкости и нефти после проведения ГРП. Всего выделены четыре основных критерия:

1. Пластовое давление. В низкопроницаемых, расчлененных коллекторах определение пластового давления перед проведением ГРП, необходимо для построения модели. Предварительно перед проведением основной стадии ГРП, проводятся калибровочные тесты (как правило, это: замещение и миниГРП), используемые для корректировки основного ГРП. Предварительное проведение стандартных методов ГДИС до и после проведения ГРП разнится с данными калибровочных тестов, при не достижении псевдорadiaльного режима.

Корреляционные графики (рис. 2, 3), результатов опытно-промышленных данных (ОПР), указывают на влияние пластового давления в зависимости от коллектора на который произведено

воздействие (Борхович и др. 2012) [2]. Эффективность ГРП по карбонатному коллектору увеличивается с ростом пластового давления (рис. 2), тогда как по терригенному коллектору при пластовом давлении более 140 атм., наблюдается снижение эффекта в результате обводнения добывающей продукции.

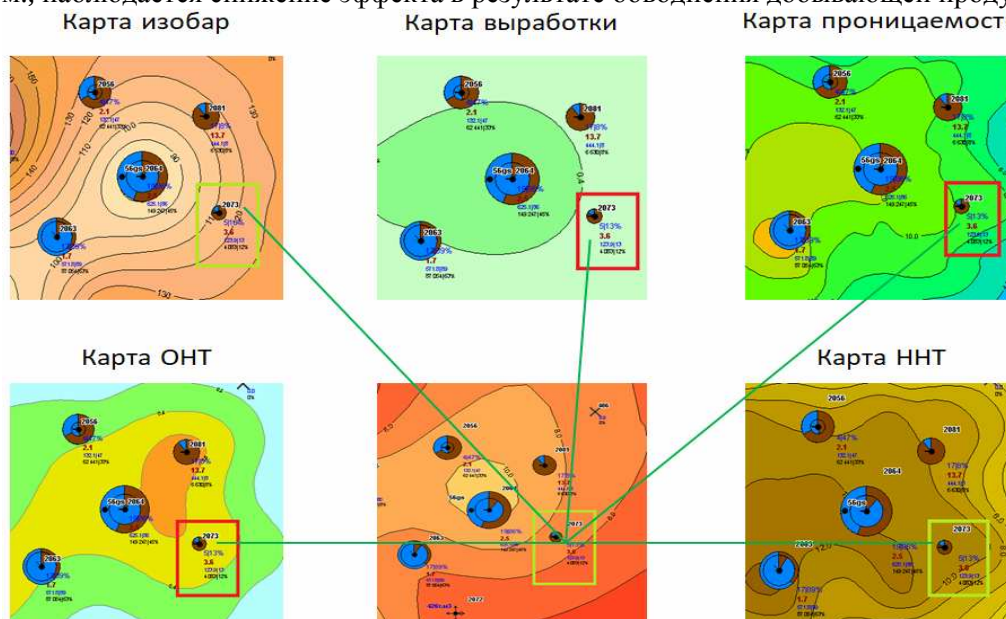


Рис. 1. Выбор скважины-кандидата на проведение ГРП

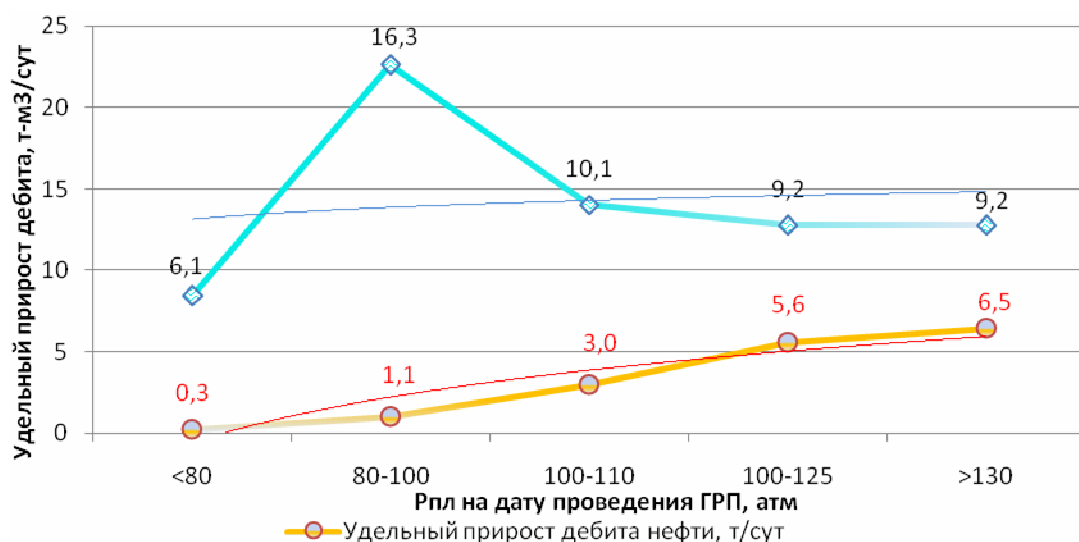


Рис. 2. Зависимость удельного прироста дебитов нефти и жидкости от значения пластового давления карбонатного коллектора среднего карбона (Верейско-Башкирского пласта)

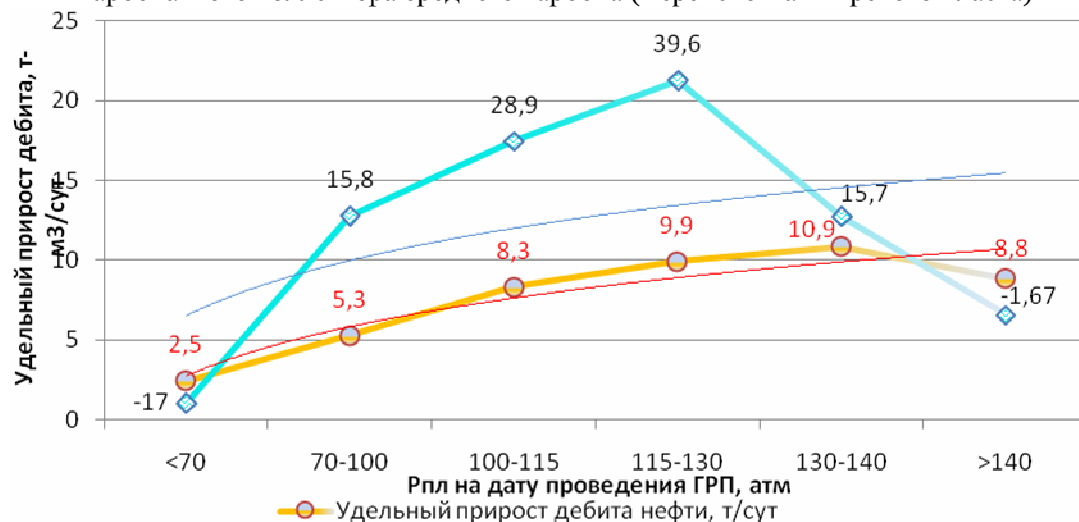


Рис. 3. Зависимость удельного прироста дебитов нефти и жидкости от значения пластового давления терригенного коллектора нижнего карбона (Визейского пласта)

2. Проницаемость. В зависимости от проницаемости продуктивного пласта, параметр проницаемости при проведении ГРП является определяющим при выборе технологии.

На карбонатном коллекторе, с увеличением проницаемости возникает тенденция роста обводнения (рис. 4), ГРП эффективен на коллекторах с проницаемостью менее 125 мД. В отличие от карбонатного, результаты ГРП на терригенном коллекторе, технологически менее зависимы от характеристик проницаемости в результате лучшей фиксации образованных трещин, большими пачками проппанта.

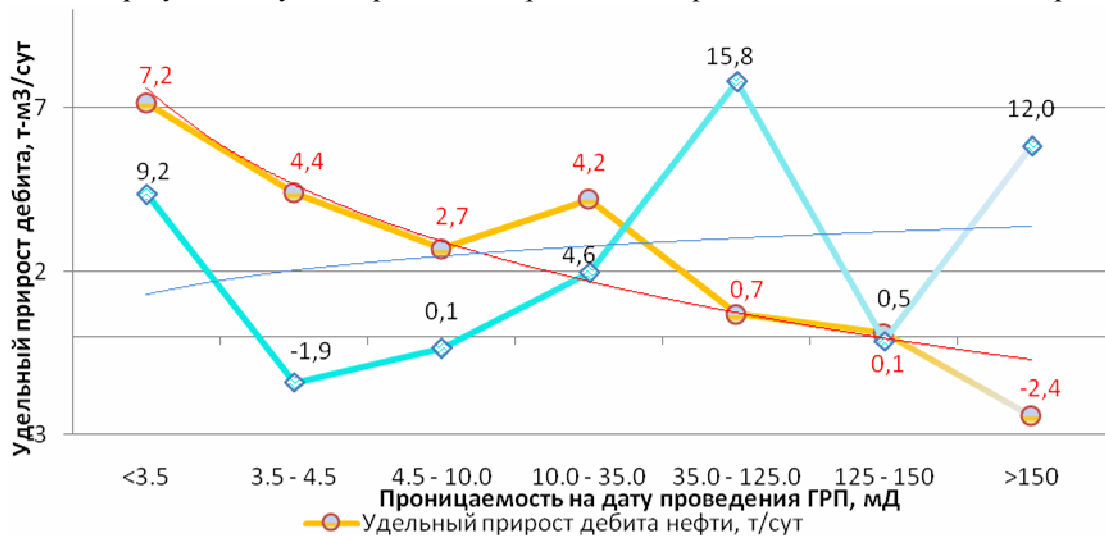


Рис. 4. Зависимость удельного прироста дебитов нефти и жидкости от значения проницаемости карбонатного коллектора, среднего карбона (Верейско-Башкирского пласта)

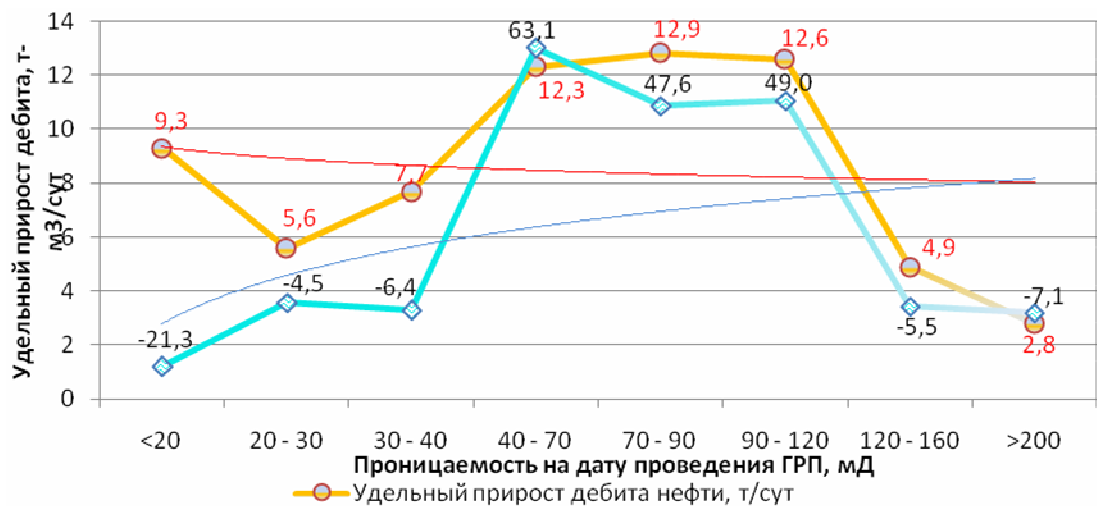


Рис. 5. Зависимость удельного прироста дебитов нефти и жидкости от значения проницаемости терригенного коллектора нижнего карбона (Визейского пласта)

3. Остаточная нефтенасыщенность, приурочены к зонам снижения пластового давления, в результате смыкания флюидо-проводящих трещин в зонах трещиноватости, приуроченных к флексурам. Возникающие в данных зонах участки с остаточной нефтенасыщенностью в качестве альтернативы разработке с помощью бурения бокового ствола (БС), возможно применение ГРП в качестве метода увеличения дренирования и продуктивности.

4. Наличие остаточных запасов в межскважинном пространстве не позволяет утверждать, что эти запасы извлекаемые. Как известно, достигаемый коэффициент извлечения нефти месторождений составляет в среднем 0,3. Поэтому очень важно оценить выработку запасов и найти такие участки, где имеются ОИЗ, но текущая выработка низкая.

По данным нефтенасыщенности и остаточных запасов нефти (рис. 6-9) на карбонатном и терригенном коллекторе необходимое условие, успешной эксплуатации скважин после проведения ГРП и возможность получения высоких значений коэффициента извлечения нефти (КИН) и довыработки запасов.

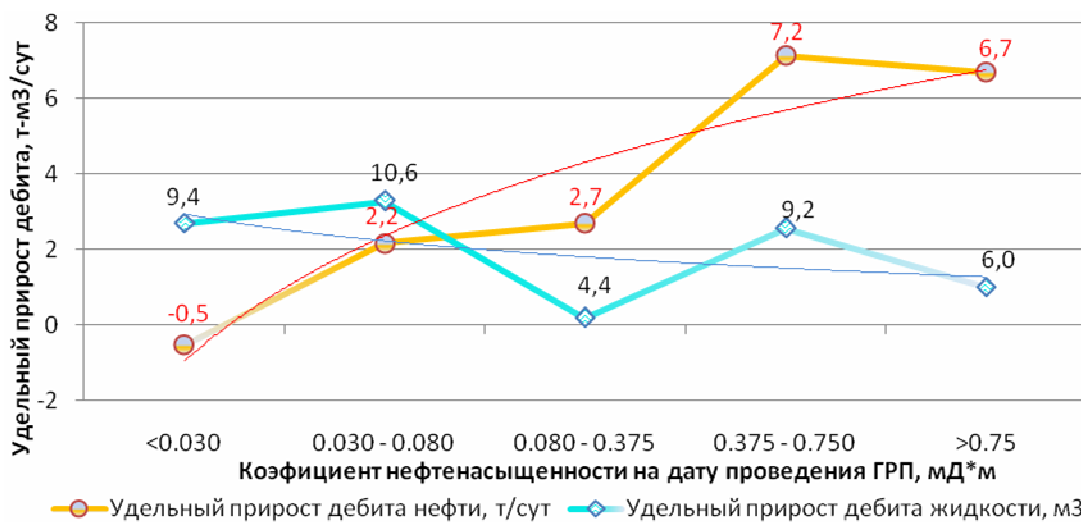


Рис. 6. Зависимость удельного прироста дебитов нефти и жидкости от значения коэффициента нефтенасыщенности карбонатного коллектора, среднего карбона (Верейско-Башкирского пласта)

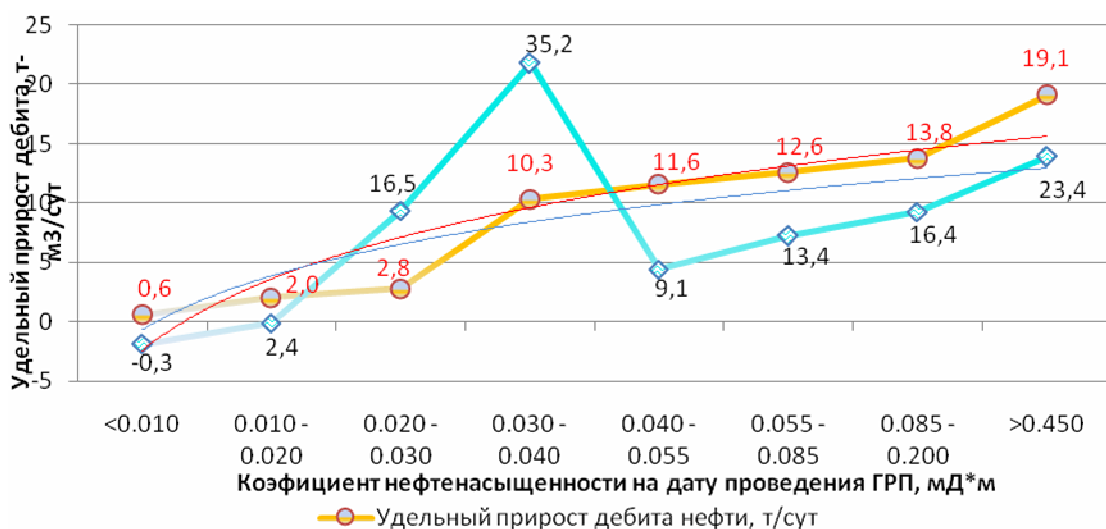


Рис. 7. Зависимость удельного прироста дебитов нефти и жидкости от значения коэффициента нефтенасыщенности терригенного коллектора нижнего карбона (Визейского пласта)

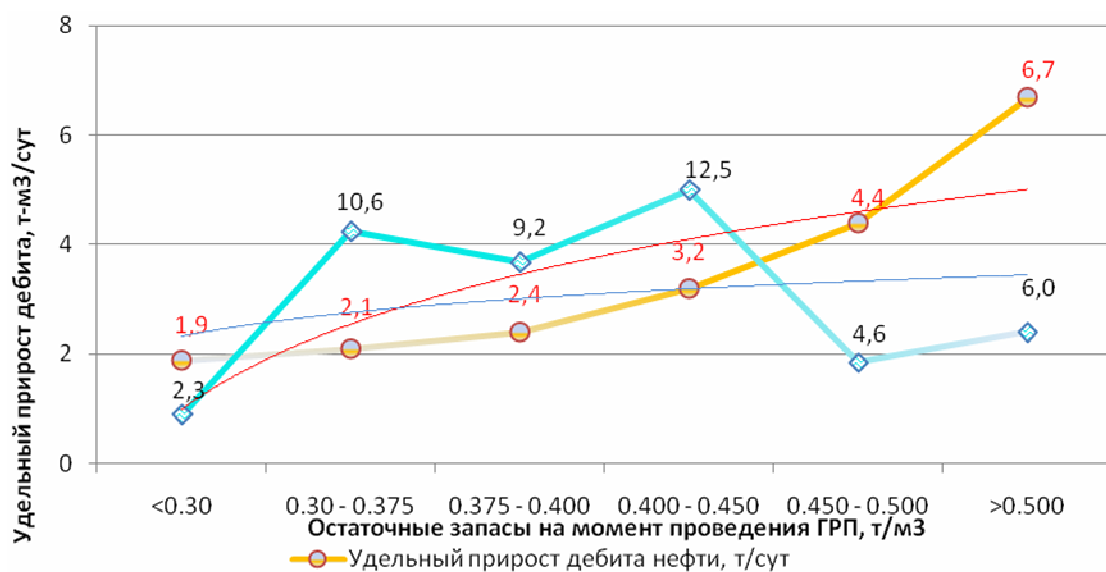


Рис. 8. Зависимость удельного прироста дебитов нефти и жидкости от значения остаточных запасов карбонатного коллектора среднего карбона (Верейско-Башкирского пласта)

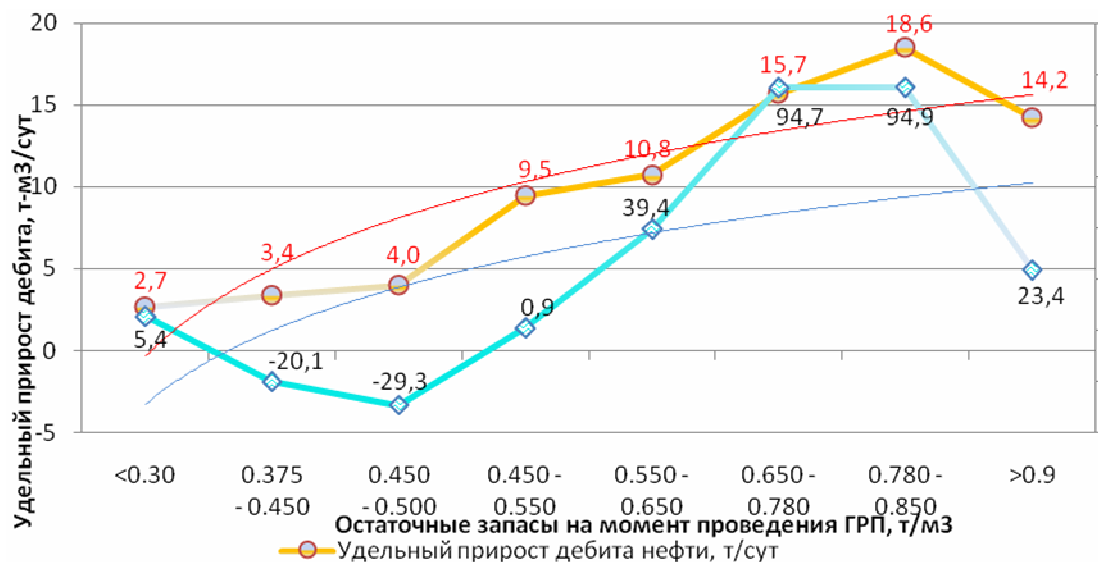


Рис. 9. Зависимость удельного прироста дебитов нефти и жидкости от значения остаточных запасов терригенного коллектора нижнего карбона (Визейского пласта)

С учетом построенных зависимостей, на графическом материале и влиянии каждого из геологических критериев на успешность проведения ГРП проведено ранжирование скважин, по выделенным критериям которым соответствует применение первичного ГРП показано на примере карбонатного коллектора, верейско-башкирских пластов. Особенностью при проведении КГРП, важно на этапе подбора жидкости разрыва исходя из предварительных исследований на основе кернового материала и промысловых данных, так на примере скважины №2073 Сосновского месторождения (рис. 10), после ввода из бурения наклонно-направленной скважины со средним дебитом 8,7 т/сут., в течении нескольких месяцев при снижении дебита после проведения СКО с положительным приростом дебита нефти до 9,5 т/сут., с постепенным его снижением, в результате закупорки коллектора, характеризующегося породами с низкой проницаемостью, имеющего осложнения в виде многопластовых, глинизированных пропластков.

Нар. добыча на 01.01.2024 г – 3 372 т

Рпл – 100 атм

МРП – 247 сут

Нд – 1195 м Нв.д. – 1251.3 м

ГНО – ТНМ-44 на гл. 1244.84 м

**СОСНОВСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ
СКВАЖИНА № 2073. Куст № 10
(пл.С2vr+C2b) Вл. Нет**

ГРП с ПРОПАНТОМ – 16.07.2023 г

Нак. доп.добыча – 216 тонн

Прод. эффекта – 152 сут

Эффект запускной – 5.5 т/сут

Эффект текущий – 1.2 т/сут

Изменение базы декабрь 2022 г. – 2.4 т/сут

Мех.примеси 79.4 мг/дм³ 22.08.2023г.

Дата запуска в эксплуатацию 18.04.2022 г

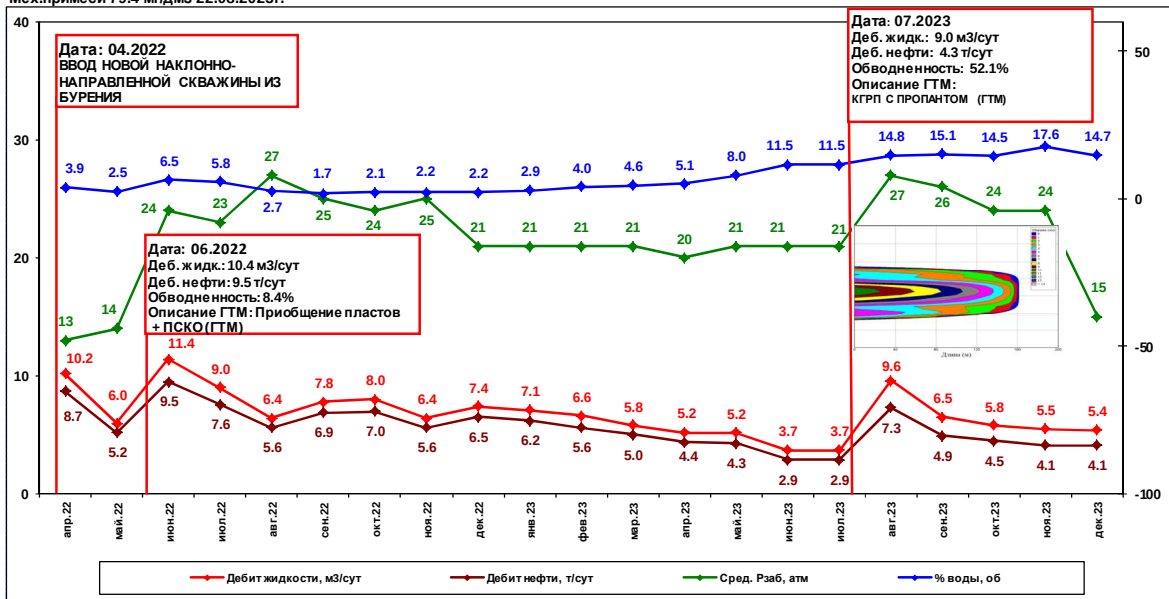


Рис. 10. Выявление скважин со снижением продуктивности (ввод новой наклонно-направленной скважины Сосновского месторождения 2073)

При проведении ОПР для интенсификации продуктивности добывающей скважины и достижения заложенного эффекта применен КГРП с пропантом [3]. Для предотвращения предварительной

остановки и получения «Стоп», при проектировании заложена высокая скорость нагнетания, положительно сказавшаяся при расходе 3 м³/мин на удаленность полученных трещин (более 160м) при растворении породы во время расклинивания и закреплении их проппантом. Получено снижение скин-фактора с 1 до -3,4 за счет увеличения проводимости продуктивного пласта с 532,5 мД/м³ до 787 мД/м³. Текущий эффект по скважине сохраняется, 1,2т/сут., при накопленной дополнительной добыче в размере 216 тонн.

При эксплуатации скважин, в результате ухудшения геологических характеристик принятых для его успешности при подборе ГРП, как пластовое давление и проницаемость. Для оптимизации существующих трещин ГРП и интенсификации притока, возможно применение повторного ГРП необходимо с учетом данных, полученных по результатам первичного после установившихся отборов. Применение повторного ГРП возможно реализовать следующими способами.

1. Повторный ГРП, проводится в интервалах первичного после реперфорации продуктивных пластов.

2. Повторный ГРП, проводится после дополнительной перфорации зон продуктивных пластов, первично не охваченных ГРП.

Повторный ГРП, проанализирован на примере скважины Черновского месторождения, при первичном ГРП на скв. № 293 Черновского месторождения (рис. 11) получены короткие трещины закрепленной длины (около 65 м), для получения дополнительного дебита и создания условий для интенсификации проведен повторный ГРП. После реперфорации продуктивных пластов, проведен ГРП с проппантом, получен дополнительный приток жидкости, а так же рост обводнения (с 50,4% до 78,0%) добываемой продукции при увеличении длины закрепленных трещины (более 118 м).

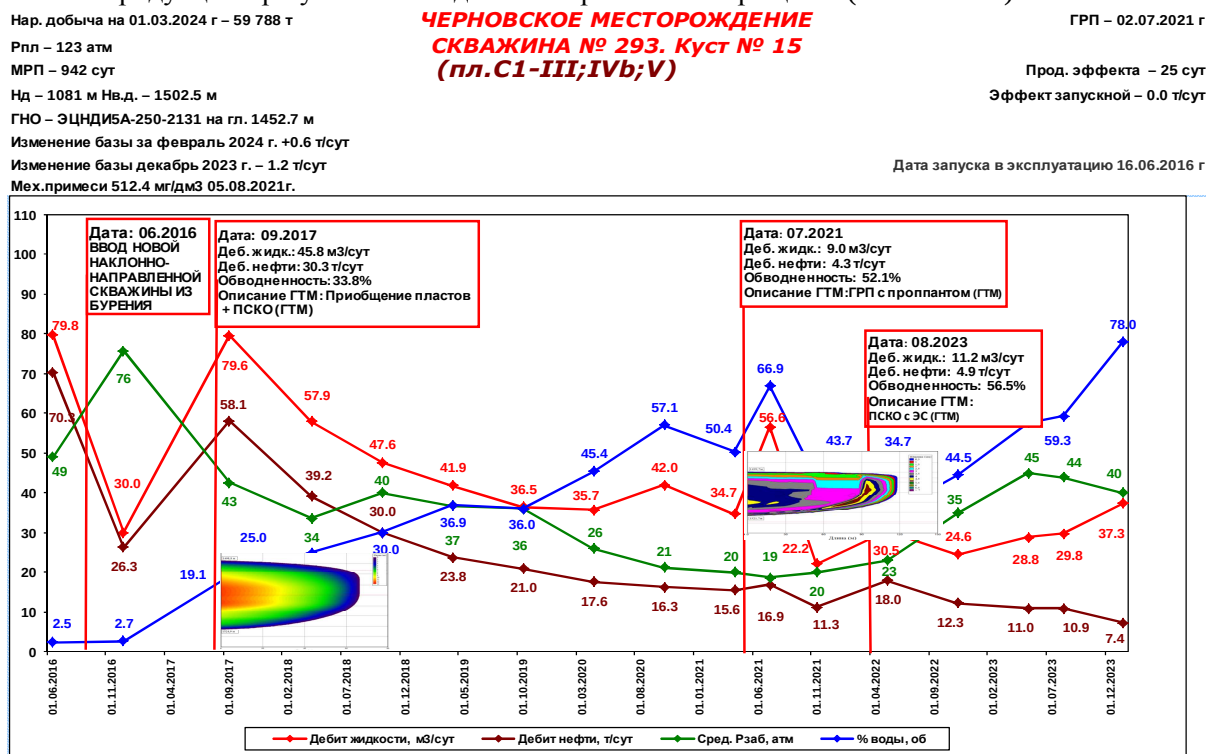


Рис. 11. Подбор скважин для проведения повторного ГРП (рефрак), Черновское месторождение скв. 293

Анализируя полученные данные результатов проведения ГРП и КГРП с проппантом, эксплуатационные данные (рис. 10, 11) полученные до и после, отмечают первичную эффективность, увеличение дебитов жидкости и нефти с последующим их снижением. Первичный рост продуктивности, по скважинам привел к снижению пластового давления (с 143 атм, до 110 атм.) при повторном проведении ГРП по Визейскому объекту, характеризуется ростом забойного давления и объясняется ростом обводнения, что возможно связано с преждевременным прорывом нагнетаемой воды, из скважины ППД №309Р, что не характерно для Вереиско-башкирского объекта. Наблюдается общее снижение характеристик продуктивности, что возможно связано с низкими энергетическими характеристиками пластов.

В настоящей работе проведена попытка формализации скважин для проведения операции гидроразрыва пласта (ГРП) и их ранжирование для пластов, исходя из опыта применения на месторождениях Удмуртской республики с применением различных технологий. В том числе:

проппантный ГРП эффективный на терригенных коллекторах Визейского яруса (C1v), используемый в 61,8% от общего количества операций ГРП.

Кислотный гидроразрыв пласта (КГРП), применяемый на карбонатных коллекторах пластов Верейских (C2vr), Верейско-Башкирских (C2vr+b), и Башкирских пластов (C2b), используемый в 38,2% случаев от общего количества операций ГРП. Особенностью месторождений Удмуртской республики является низкое пластовое давление, широко применяемая технология КГРП без последующего закрепления трещин проппантом, показала неудовлетворительные результаты. Оптимальные результаты получены при чередовании закачки пачек сшитого геля с проппантом и пачек кислотного состава (13-15% HCl), продвигаясь по закрепленным трещинам в направлении их распространения, кислотные составы реагируют с удаленной зоной карбонатных пород.

Заключение

Основываясь на промысловые данные, рассмотренные выше. При выборе скважин кандидатов, для проведения ГРП выявлены следующие характеристики для их успешности.

1. Пластовое давление не должно быть не менее 25,0% от первоначального давления (более 70 атм.).

2. Проницаемость карбонатных коллекторов, при проведении ГРП является ограничивающим фактором, при проницаемости более 125 мД, в отличие от терригенного коллектора.

3. Дополнительная добыча нефти, имеет тенденцию к увеличению пропорционально коэффициента нефтенасыщенности пластов, высокими значениями остаточной нефтенасыщенности коллекторов на момент проведения ГРП.

В связи с этим, многие симуляторы ГРП в качестве критериев при подборе скважин ГРП успешно используют особенности коллекторских свойства.

Список литературы

1. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений. – М.: Недра, 1968. – 333 с.
2. Борхович С.Ю., Афолина Ю.М., Колода А.В. Гидроразрыв нефтяных пластов с низкими пластовыми давлениями // Нефть. Газ. Новации. – 2012. – № 11. – С. 48-51.
3. Здольник С.Е., Некипелов Ю.В., Гапонов М.А. Внедрение новых технологий гидроразрыва пласта на карбонатных объектах месторождений ПАО АНК «Башнефть» // Нефтяное хозяйство. – 2016. – №7. – С. 92-95.

Сведения об авторах:

Лушников Никита Николаевич – аспирант.

КОМПАКТЫ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ И ЗОЛЫ МУСОРОСЖИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Хардин И.С., Колодежная Е.В., Горлова О.Е.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск

Ключевые слова: переработка и утилизация техногенного сырья, компактирование, брикетирование, зола мусоросжигательных установок, технологическая связка, гидравлические свойства, прочность брикетов.

Аннотация. Нарастание объемов накопления горнопромышленных отходов и возникновение относительно новых экологических вызовов, к которым можно отнести отходы мусоросжигательных установок, требует от специалистов отрасли поиска нестандартных технологических решений. Компактирование отходов производства и продуктов их переработки позволит снизить нагрузку на окружающую среду и транспортировать отходы к месту утилизации. В работе приведены результаты изучения вещественного состава золы уноса мусоросжигательной установки и свойства брикетов на ее основе.

COMPACTS OF PROCESSING OF TECHNOGENIC RAW MATERIALS PRODUCTS BASED ON THE ASH OF INCINERATORS

Hardin I.S., Kolodezhnaya E.V., Gorlova O.E.

Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk

Keywords: processing and utilization of man-made raw materials, compaction, briquetting, ash of incinerators, technological coupling, hydraulic properties, strength of briquettes.

Abstract. The increase in the accumulation of mining waste and the emergence of relatively new environmental challenges, which include waste from incineration plants, requires specialists from the industry to search for non-standard technological solutions. Compaction of production waste and products of their processing will reduce the burden on the environment and transport waste to the disposal site. The paper presents the results of studying the material composition of fly ash from an incinerator and the properties of briquettes based on it.

Современный этап промышленной переработки полезных ископаемых характеризуется увеличением объема образования и накопления техногенных горнопромышленных отходов. Попутно извлекаемые низкокачественные руды, вскрышные породы, хвосты обогащения, металлургические шлаки и шламы, отработанные огнеупорные изделия и т.д. складываются на земной поверхности вызывая негативные последствия для водных ресурсов и атмосферы горнопромышленных районов. По различным данным на территории РФ в отвалах и хвостохранилищах накоплено свыше 80 млрд. тонн твердых отходов. Не извлекается и остаются в отходах медь, цинк, свинец, железо, алюминий и др. [1].

Сложившаяся ситуация в секторе управления отходами, истощение запасов богатых и легкообогатимых руд, а также государственная политика, направленная на стимулирование горнометаллургических предприятий к рециклингу и утилизации отходов производства позволяет рассматривать отходы в качестве техногенного сырья и способствует увеличению объемов его переработки. Примерами рециклинга отходов являются технологии использования хвостов обогащения в качестве компонентов закладочных смесей, сырья для керамической и цементной промышленности, а также технологии получения концентратов черных и цветных металлов, золота и серебра из хвостов обогатительных фабрик и металлургических шлаков [2]. Для доизвлечения ценных компонентов применяются технологические схемы, как правило, включающие доизмельчение материала. Например, при переработке сталеплавильных шлаков по магнито-гравитационным технологическим схемам осуществляется доизмельчение материала до крупности менее 0,2-0,3 мм и его обеспыливание по границе 0,04 мм [3]. В результате переработки получают концентраты, имеющие крупность, отличающуюся от крупности концентратов из природного сырья. Продукты с таким гранулометрическим составом не могут быть использованы в последующих металлургических процессах по ряду технологических причин, и должны дополнительно компактироваться.

Технологии компактирования (брикетирование и грануляция) позволяет увеличить крупность размера материала с использованием сухого процесса сжатия, при котором порошок формируются в выверенную форму [4]. Полученные продукты имеют одинаковый заданный размер, уменьшается объем порошков и решаются проблемы сегрегации, подачи, дозирования и упаковки. Однако для создания компактов достаточной для транспортировки и хранения прочности, из тонкодисперсных, обеспыленных концентратов, необходимо введение воды (при необходимости) и технологических добавок. Добавки позволяют изменять гранулометрический состав порошков, поступающих на компактирование, и как правило, обладают гидравлическими свойствами. Широко применяемой добавкой при изготовлении компактов является лигносульфонатная (ЛСТ).

Сегодня экологические вызовы не ограничиваются отходами промышленных предприятий. Мы сталкиваемся с относительно новыми видами техногенных материалов – отходами мусоросжигательных установок. Наиболее распространенным в мире способом переработки твердых бытовых отходов становится их сжигание при температуре 900-1200°C без дополнительного ввода топлива. При этом образуется шлак (20-30% от исходной массы) и зола уноса, по своим свойствам аналогичные отходам высокотемпературных металлургических процессов и требующие переработки и утилизации [5]. Зола с мусоросжигательных установок представляет собой тонкодисперсный порошок серого цвета и крупностью до 0,06мм, при этом крупность частиц составляет 60 мкм и содержанием до 50% частиц размером до 8 мкм (рис. 1). Высокое содержание в золе СаО дает возможность предположить наличие хорошей гидравлической активности (табл. 1).

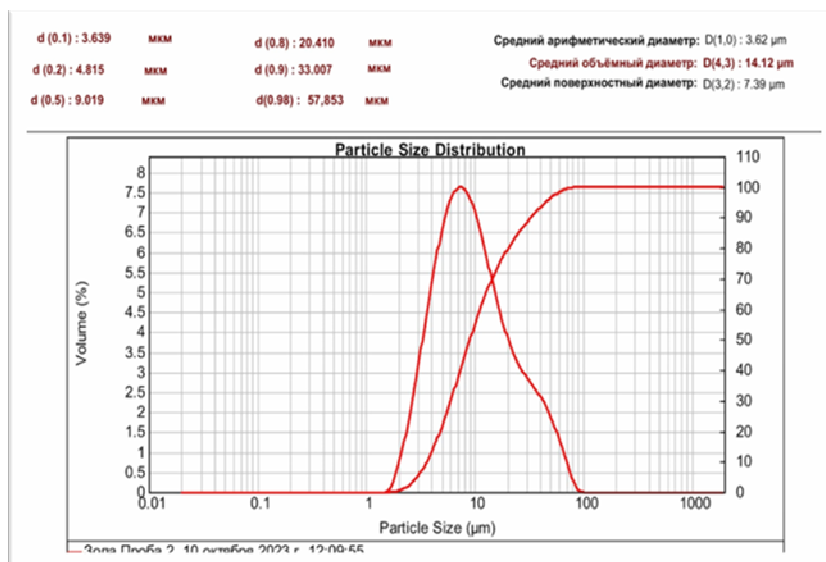


Рис. 1. Гранулометрический состав золы мусоросжигательных установок

Табл. 1. Химический состав золы мусоросжигательных установок

Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	SO ₃	Cl	K ₂ O	TiO ₂
0,41	47,8	14,0	4,5	10,1	5,9	0,26
ZnO	P ₂ O ₅	PbO	As ₂ O ₃	Na ₂ O	пмпп, %	W, %
0,66	0,20	0,13	0,16	2,20	15,26	1,96

Идея работы заключается в использовании золы мусоросжигательных установок в качестве добавки при брикетировании техногенных отходов для получения брикетов пригодных для транспортирования отходов к месту депонирования и подачи в металлургический процесс.

Для определения гидравлической активности золы (схватывание и самостоятельное твердение) были изготовлены брикеты цилиндрической формы, процессом уплотнения мелкодисперсных сыпучих материалов методом двустороннего прессования – компактирование. Диаметр и высота брикетов составили 30 мм. Давление прессования 50 Мпа (рис. 2). Брикеты были изготовлены из золы и из отсева дробления сталеплавильного шлака фракции 0-0,3 мм с добавлением золы в качестве технологической связки. Готовые брикеты выдерживались в течение 7 суток в нормально влажностных условиях при температуре 20°C. После выдержки определялась прочность брикетов при сжатии (табл. 2).



Рис. 2. Внешний вид брикетов

Табл. 2. Состав и характеристики брикетов

Вид брикета	Расход связки, %	Плотность брикета, г/см ³	Прочность при сжатии, МПа
Отсев+ ЛСТ (25% конц.)	7,0	2,51	5,4
Зола+отсев	7,0	2,33	10,5
Зола	-	1,8	49,6

В результате испытаний установлено повышение прочностных свойств компакта из шлака с добавлением золы мусоросжигательных установок. Прочность полученных брикетов является достаточной для их транспортирования и дальнейшей переработки. Дальнейшая работа будет направлена на уточнение областей применения золы и брикетов на ее основе, экологической нагрузки полученных материалов на окружающую среду в процессе хранения и утилизации для формирования ответа на новые экологические вызовы.

Список литературы

1. Горлова О.Е. Развитие научно-методологических основ технологии переработки горнопромышленных отходов: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2020. – 38 с.
2. Экологически ориентированная переработка горнопромышленных отходов: монография / под науч. ред. В.А. Чантурия, И.В. Шадруновой. – М.: Спутник+, 2018. – 200 с/
3. Шадрунова И.В., Горлова О.Е., Колодежная Е.В. Технология получения высококачественных концентратов из отвальных металлургических шлаков // Обогащение руд. – 2019. – №4. – С. 54-60.
4. Осокин А.В., Севастьянов М.В. Анализ существующих способов и технологических средств для компактирования техногенных материалов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2013. – №5. – С. 89-93.
5. Воробьев К.А. Возможности улавливания диоксида углерода шлаками мусоросжигательных заводов в газовых средах // Вестник Пермского университета. – 2023. – Т.22, №3. – С. 275-281. –DOI: 10.17072/psu.geol.22.3.275.

Сведения об авторах:

Хардин Игорь Сергеевич – студент;

Колодежная Екатерина Владимировна – к.т.н., ведущий научный сотрудник отдела горной экологии;

Горлова Ольга Евгеньевна – д.т.н., профессор кафедры «Геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых».

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОДВЕСКУ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ ПРИ ПОВОРОТЕ

Горячкин А.А., Ратцев Я.А.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: управляемость автомобилем, подвеска, сжатие подвески, центробежные силы, крен кузова, тангаж кузова.

Аннотация. В настоящее время интенсивно ведутся исследования по совершенствованию эксплуатационных характеристик автомобиля: плавности хода, устойчивости, виброзащищенности, управляемости. Указанные свойства в значительной мере определяются характеристиками подвески. Существенное внимание уделяется разработке активных подвесок. Для определения алгоритмов управления активными элементами подвески необходимо, в частности, определить силы, действующие на подвеску при повороте автомобиля. В статье получены математические модели, устанавливающие взаимосвязи силовых воздействий на подвеску с параметрами движения и конструктивными параметрами автомобиля.

INVESTIGATION OF THE FORCE EFFECTS ON THE SUSPENSION OF A PASSENGER CAR WHEN TURNING

Goryachkin A.A., Rattsev Ya.A.

Samara State Technical University, Samara

Keywords: car handling, suspension, suspension compression, centrifugal forces, body roll, body pitch.

Abstract. Currently, intensive research is underway to improve the performance characteristics of the car: smoothness, stability, vibration protection, controllability. These properties are largely determined by the characteristics of the suspension. Significant attention is paid to the development of active suspensions. To determine the algorithms for controlling the active suspension elements, it is necessary, in particular, to determine the forces acting on the suspension when the car turns. The article provides mathematical models that establish the relationship between force effects on the suspension and the motion parameters and design parameters of the vehicle.

Введение

Повышение комфорта и управляемости автомобиля – основные задачи современного автомобилестроения.

Управляемость автомобилем зависит от многих факторов. К ним относятся: распределение веса по автомобилю (высота центра масс, угловые инерции крена, тангажа и рысканья); характеристики подвески (хода подвески и жесткости пружины, конструкции шин и дисков); неподрессоренный вес; аэродинамика автомобиля.

Известны различные способы стабилизации кузова автомобиля [1]. С развитием техники и технологий наблюдается тенденция к применению адаптивных систем управления подвеской. Адаптивная система работает по принципу непрерывного контроля вертикального перемещения колес и осей автомобиля относительно шасси или кузова автомобиля и своевременного управления исполнительным элементом по определенному закону.

Для синтеза системы управления адаптивной подвеской необходима математическая модель, устанавливающая взаимосвязи силовых воздействий на подвеску с параметрами движения и конструктивными параметрами автомобиля. Известны различные зависимости в части управляемости и комфорта автомобиля [2]. В [3] уже упоминалось о необходимости расчета сил, действующих на подвеску, однако в работе приведена упрощенная модель, адекватная лишь на малых отклонениях углов крена. В статье предлагается обобщенный способ определения сил, действующих в подвеске автомобиля.

Математическая модель силовых воздействий на подвеску при повороте автомобиля

Пусть автомобиль массой m_a движется по окружности (поворачивает) радиуса R с линейной скоростью V . В таком случае на автомобиль будет действовать центробежная сила $F_{ц}$. Воздействие центробежной силы на объект принято рассматривать как силу, приложенную к центру масс объекта. Так как целью статьи является определение сил, возникающих в подвеске при повороте, то целесообразно рассматривать не всю массу автомобиля m , а только поддрессоренную массу этого автомобиля m_2 . На рисунке 1 показана упрощенная кинематическая схема подвески автомобиля, иллюстрирующая направления некоторых сил, действующих на автомобиль с поддрессоренной массой m_2 , движущегося на повороте с линейной скоростью V . Радиус поворота автомобиля R рассматривается как перпендикуляр, проведенный от продольной оси автомобиля, проходящей через центр масс к мнимой оси вращения O . Расположение центра масс поддрессоренной части автомобиля по продольной оси описывается параметрами a_1 и a_2 относительно ходовых осей. По поперечной оси центр масс определяется параметрами b_1 и b_2 . Высоту центра поддрессоренной массы h_{n2} следует рассматривать относительно точек опирания этой поддрессоренной массы (кузова).

Принимаем, что точки опирания кузова лежат в одной плоскости, а кузов автомобиля абсолютно жесткий (не деформирующийся). Центробежная сила, действующая на поддрессоренную массу

$$F_{цп} = \frac{m_2 V^2}{R}.$$

Так как центр масс поддрессоренной части автомобиля находится на некоторой высоте относительно плоскости опирания, возникающая центробежная сила создает вращающий момент

$$M_{цп} = F_{цп} \cdot h_{n2},$$

вследствие которого на каждый демпфер автомобиля действует сила сжатия или растяжения F_{SC} , в зависимости от направления центробежной силы. Как правило, центр масс не лежит в точке пересечения продольной оси автомобиля с радиусом поворота R , поэтому описание отношения положения центра масс относительно поперечной оси автомобиля удобно описать углом γ . Кроме того, в случае заноса автомобиля угол γ изменяется. Учитывая это, спроецируем действующую центробежную силу на продольную и поперечную оси автомобиля:

$$F_{цп\text{прод}} = F_{цп} \cdot \sin \gamma,$$

$$F_{цп\text{поп}} = F_{цп} \cdot \cos \gamma.$$

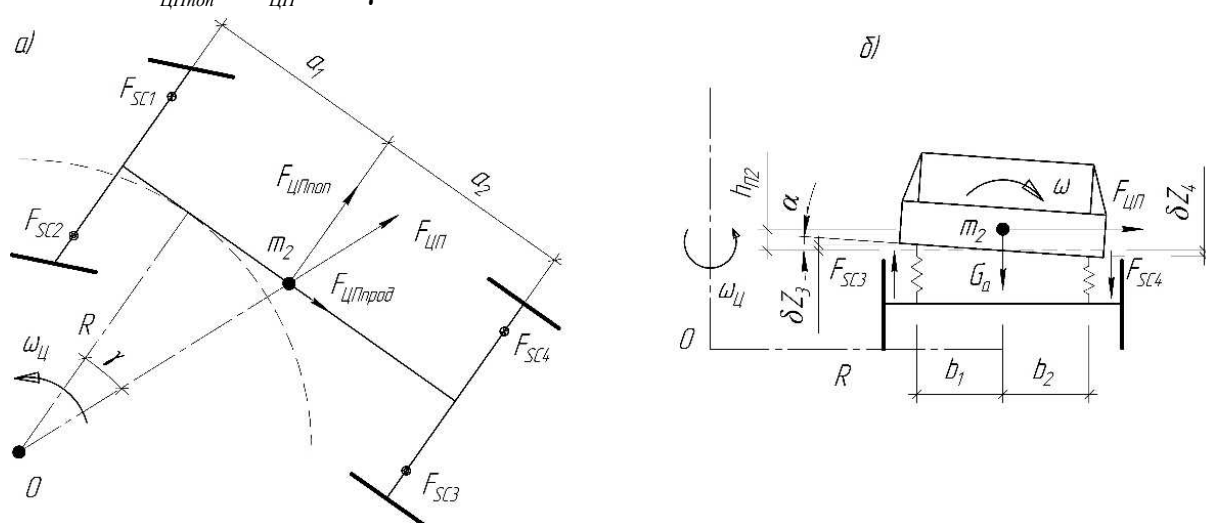


Рис. 1. Упрощенная кинематическая схема подвески автомобиля: а – вид сверху; б – вид сзади

Тогда продольная и поперечная составляющие вращающего момента будут равны:

$$M_{цп\text{прод}} = F_{цп\text{прод}} \cdot h_{n2},$$

$$M_{цп\text{поп}} = F_{цп\text{поп}} \cdot h_{n2}.$$

Расстояние между точками опирания кузова на подвеску равно:

$$a = a_1 + a_2,$$

$$b = b_1 + b_2.$$

Следовательно, продольная и поперечная составляющие проекции центробежной силы, действующие в каждой точке опирания:

$$F_{SC\text{прод}} = \frac{2M_{цп\text{прод}}}{a},$$

$$F_{SC\text{поп}} = \frac{2M_{цп\text{поп}}}{b}.$$

Примем действие силы на сжатие положительным, а отсчет угла направления центробежной силы будем вести против часовой стрелки. Силовые воздействия, возникающие в каждой точке опоры кузова при повороте автомобиля:

$$F_{SC1} = F_{SC\text{прод}} + F_{SC\text{поп}},$$

$$F_{SC2} = -F_{SC\text{прод}} + F_{SC\text{поп}},$$

$$F_{SC3} = -F_{SC\text{прод}} - F_{SC\text{поп}},$$

$$F_{SC4} = F_{SC\text{прод}} - F_{SC\text{поп}}.$$

На рисунке 2 показана зависимость возникающих сил в каждой подвеске при установившемся движении в повороте автомобиля от направления центробежной силы.

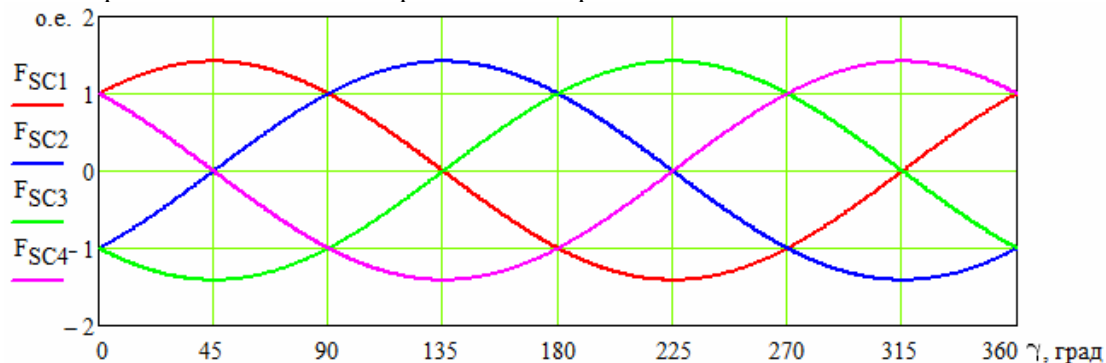


Рис. 2. Зависимость возникающих сил в подвеске при установившемся движении в повороте автомобиля от направления центробежной силы относительно поперечной оси автомобиля

В стационарном режиме деформация каждой части подвески определяется эквивалентной жесткостью C :

$$\delta Z_{SCn} = \frac{F_{SCn}}{C},$$

где n – номер точки опоры.

Принимая, что подвеска автомобиля относительно продольной оси симметрична, угол крена кузова автомобиля:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\delta Z_1 - \delta Z_2}{b}\right).$$

На основе полученной модели рассмотрим зависимость угла крена кузова от изменения поддрессоренной массы (загрузки автомобиля) при установившемся движении в повороте автомобиля. Принимая массу кузова за единицу, получим зависимость, представленную на рисунке 3.

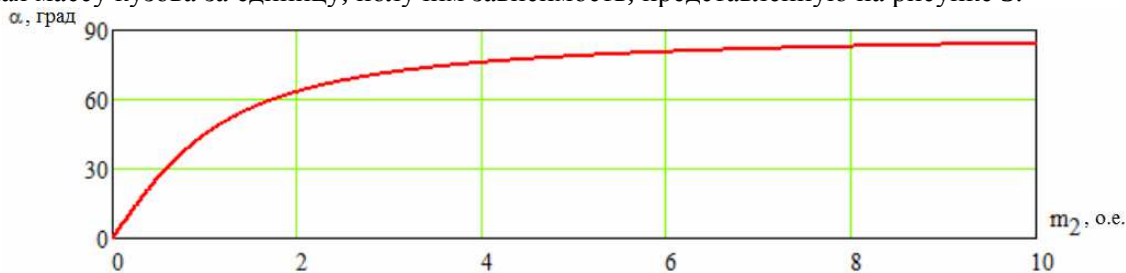


Рис. 3. Зависимость угла крена кузова от поддрессоренной массы при установившемся движении в повороте автомобиля

Как видно из зависимости, увеличение поддрессоренной массы в установившемся повороте автомобиля ведет к увеличению угла крена кузова. Аналогичная зависимость изменения угла крена наблюдается при изменении линейной скорости движения автомобиля.

Изменение положения центра масс при различной загрузке автомобиля следует рассматривать как изменение радиуса поворота R автомобиля и угла γ . Так при изменении радиуса поворота автомобиля, зависимость изменения угла крена кузова при установившемся движении представлена на рисунке 4.

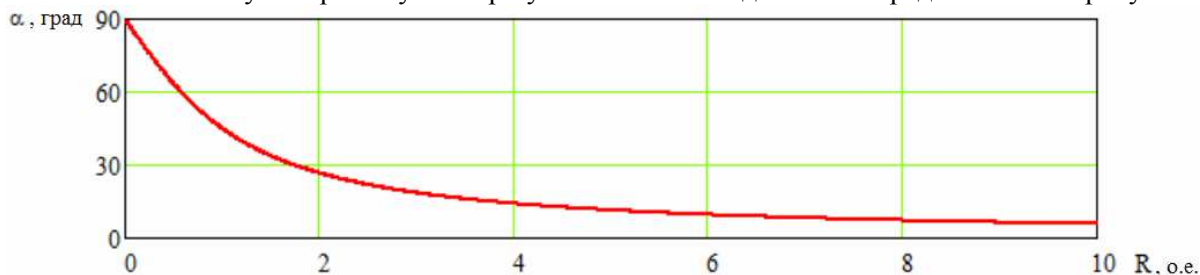


Рис. 4. Зависимость угла крена кузова от изменения радиуса поворота

Так как изменение положения центра масс при различной загрузке в сравнении с радиусами поворота невелико, это не оказывает значительного влияния на угол крена кузова автомобиля.

Изменение угла крена в переходных режимах приводит к возникновению инерционного (динамического) момента. Под переходными режимами следует понимать вход и выход из поворота (так как радиус поворота изменяется [4]), изменение линейной скорости автомобиля, например, «торможение в повороте», вход и выход из заноса. Инерционный момент при изменении угла крена определяется выражением:

$$M_{\text{ДИН.поп}} = J \frac{d^2\alpha}{dt^2},$$

где J – момент инерции автомобиля относительно продольной оси.

Аналогично определяется инерционный момент при вращательном движении вокруг вертикальной оси автомобиля.

Так как автомобиль имеет сложную конструкцию, рассчитать моменты инерции автомобиля достаточно сложная задача. Известно несколько попыток предложить универсальный способ расчета момента инерции автомобиля в виде соотношения, связывающего массу автомобиля, его геометрические размеры и расположение центра тяжести [5]. Однако их точность, с учетом тенденций развития автомобилестроения, не велика. На практике момент инерции автомобиля определяется экспериментально для вращательного движения вокруг вертикальной оси автомобиля на специальном стенде, работающем по принципу крутильного маятника [6, 7]. С развитием компьютерных технологий и переходом от 2D к 3D проектированию упрощается задача компьютерного моделирования моментов инерции автомобиля вокруг любой из осей [8]. Для современных автомобилей момент инерции определяется на стадии проектирования [9].

Учтем инерционность автомобиля для определения сил, возникающих в подвеске. Момент инерции поддрессоренной массы автомобиля относительно произвольной оси, проходящей через его центр масс:

$$J_C = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2,$$

где: m_i – массы элементарных частей поддрессоренной части автомобиля;

r_i – расстояния от центра масс элементарных частей поддрессоренной части автомобиля до произвольной оси, проходящей через центр масс поддрессоренной части автомобиля.

В соответствии с теоремой Гюйгенса–Штейнера [10], момент инерции поддрессоренной части автомобиля относительно произвольной оси, параллельной оси, проходящей через центр масс поддрессоренной части автомобиля, лежащей в плоскости опирания кузова на подвеску:

$$J = J_C + m_2 h_{n2}^2.$$

Уравнение вращательного движения для поддрессоренной массы автомобиля относительно продольной оси в таком случае имеет вид:

$$M_{\text{поп}} = M_{\text{цп}} - J \frac{d^2\alpha}{dt^2}.$$

Аналогичное уравнение будет для вращательного движения для поддрессоренной массы автомобиля относительно поперечной оси для возникающего тангажа при повороте.

Так как большинство массивных деталей и узлов расположены вблизи продольной оси автомобиля, то при относительно малой скорости движения и достаточных радиусах поворота автомобиля инерционная составляющая невелика и не существенно влияет на перераспределение усилий в поддрессоренной и неподдрессоренной частях автомобиля, поэтому ей, как правило, пренебрегают [11].

Заключение

Силы, действующие на сжатие (растяжение) подвески при повороте автомобиля существенно зависят от высоты расположения центра масс поддрессоренной части автомобиля относительно плоскости опирания. Поэтому для улучшения управляемости и комфорта автомобиля высоту центра масс поддрессоренной части автомобиля относительно плоскости опирания стремятся уменьшить. Модель полезна для численной оценки сил, действующих в подвеске при повороте автомобиля. Полученные расчетные соотношения могут быть использованы при решении задач устойчивости автомобиля при заносе.

Список литературы

1. mg99. Установка H&R anti-roll-bars (жирные стабы) [Электронный ресурс] // Drive2.ru, 2020. URL: <https://www.drive2.ru/l/566878234663191751/>
2. Кравец В.Н. Теория автомобиля: учебник. – 2-е изд., перераб. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2013. – 413 с.

3. Абакумов А.М., Горячкин А.А., Овсянников В.Н. Математические модели и структуры системы стабилизации поперечной устойчивости автомобиля // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». – 2023. – Т. 31, № 1. – С. 60-75.
4. Сазонов И.С., Ким В.А., Ки Йонг Чой. Теория автомобиля: учебное пособие. – Могилев: ГУВПО "Белорусско-Российский университет", 2017. – 164 с.
5. MacInnis D.D., Cliff W.E., Ising K.W. Comparison of moment of inertia estimation techniques for vehicle dynamics simulation // SAE Technical Papers Series. 1997, no. 970951, pp. 99-116.
6. Уравнения движения. Момент инерции автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravorub.ru/articles/48341.html?ysclid=lv83le5vs8274343715>.
7. Гернет М.М., Ратобильский В.Ф. Определение моментов инерции. – М.: Машиностроение, 1969. – 247 с.
8. Молибошко Л.А. Компьютерное моделирование автомобилей: учебное пособие для студентов специальности «Автомобилестроение» учреждений, обеспечивающих получение высшего образования. – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 280 с.
9. Дробышевская О.В., Колесникович А.Н., Матушкина О.В. Расчетное определение инерционных свойств автомобиля для моделирования динамики движения в задачах управляемости и устойчивости // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – №11. – С. 56-62.
10. Балк М.Б. Геометрические приложения понятия о центре тяжести. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 230 с.
11. Стуканов В.А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобилей: учебное пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 368 с.

Сведения об авторах:

Александр Александрович Горячкин – аспирант.

Ярослав Алексеевич Ратцев – аспирант.

СЕРПЕНТИНИТ, КАК МИНЕРАЛЬНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА СИНТЕТИЧЕСКИМ ПРИСАДКАМ

Карасёв Ю.А., Марков В.А., Гаузе А.А.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна,
Санкт-Петербург

Ключевые слова: серпентинит, антифрикционные свойства, диоксид кремния, аэрогель, интенсивность изнашивания, присадочный материал.

Аннотация. Данная работа посвящена применению серпентинита, как присадочного материала для трансмиссионных масел гусеничной техники, работающей в условиях пониженных температур. Проведен анализ схожих физико-механических свойств серпентинита и аэрогеля, и определены возможности их применения для подвижных узлов трения. При определенных концентрациях, в основном 2-3%, в смазочных материалах, выявлялось повышение износостойкости пар трения до 40%. Добавлять серпентинит необходимо в виде порошка с размером частиц 0,6 мкм. Проведя анализ вышеперечисленных присадочных материалов, наиболее целесообразно для пар трения ходовой части гусеничных машин применять материалы, способные впитывать в себя смазку, и в дальнейшем, по принципу "губки" поддерживать её концентрацию в зоне контакта деталей, а при повышенных температурах выделять диоксид кремния.

SERPENTINITE AS A MINERAL ALTERNATIVE TO SYNTHETIC ADDITIVES

Karasev Yu.A., Markov V.A., Gause A.A.

Saint-Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Saint-Petersburg

Keywords: serpentinite, antifriction properties, silicon dioxide, aerogel, wear rate, filler material.

Abstract. This work is devoted to the use of serpentinite as an additive material for transmission oils of tracked vehicles operating at low temperatures. The analysis of similar physico-mechanical properties of serpentinite and aerogel has been carried out, and the possibilities of their application for movable friction units have been determined. At certain concentrations, mainly 2-3%, in lubricants, an increase in the wear resistance of friction pairs up to 40% was detected. It is necessary to add serpentinite in the form of a powder with a particle size of 0.6 microns. Having analyzed the above-mentioned additive materials, it is most advisable for the friction pairs of the undercarriage of tracked vehicles to use materials capable of absorbing grease, and further, according to the "sponge" principle, maintain its concentration in the contact zone of the parts, and at elevated temperatures release silicon dioxide.

Серпентинит – это метаморфическая порода, состоящая главным образом из минерала серпентина. Он образуется при изменении габбро и базальта под действием высоких температур и давления, обычно в результате тектонических процессов. Серпентинит имеет зеленоватый цвет и блестящую текстуру, из-за чего в народе имеет название змеевик. Данная порода достаточно сильно распространена, и может образовывать целые горы. В промышленности серпентинит используется для производства различных строительных материалов, отделочных покрытий, керамических изделий, асбестоцементных изделий, асфальта, а также в качестве асбестоустойчивого материала. В химической промышленности может применяться как наполнитель для полимерных материалов. В некоторых случаях серпентинит может быть использован в качестве природного удобрения для почвы. Таким образом, серпентинит является универсальным материалом, который находит применение в различных областях промышленности благодаря своим уникальным свойствам и химическому составу [1]. Химическая формула серпентинита - $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$, а состав продуктов его переработки представлен в таблице 1.

Табл. 1. Химический состав серпентинита, мас. %

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	п.п.п.
Серпентинит	40,00	0,3	1,64	3,7	0,22	40,04	0,08	12,52

Необычное применение серпентинита было определено при его добавлении в жидкие смазочные материалы, такие как трансмиссионные масла. При определенных концентрациях, в основном 2-3%, в смазочных материалах, выявлялось повышение износостойкости пар трения до 40%. Добавлять серпентинит необходимо в виде порошка с размером частиц 0,6 мкм. Для получения необходимой фракции, серпентинит подвергается многократному помолу и при необходимости флотации. На рисунке 1 представлен природный серпентинит и обработанный до необходимой фракции.

При определенном температурном воздействии серпентинит разделяется следующим образом:



Из данного уравнения, видно образование диоксида кремния, антифрикционные свойства которого известны в практике изготовления присадочных материалов для снижения износа и трения. Помимо диоксида кремния, при нагревании, также образуется форстерит, который оказывает абразивное воздействие на поверхности трения, и способствует повышению интенсивности изнашивания [2]. Стоит отметить, что некоторые аэрогели (например МТМС) работают по такому же принципу. Как при

применении серпентинита, так и при применении аэрогеля на поверхностях трения инициируются конкурентные процессы защиты и разрушения, зависящие от их концентрации в смазочном слое. Для различных смазочных материалов эти концентрации выбираются индивидуально [3].



Рис. 1. Серпентинит: а) природный б) размолотый до фракции 0,6 мкм и очищенный

При работе техники в условиях пониженных температур, например арктическая климатическая зона, серпентинит также проявляет антифрикционные свойства, удерживая на поверхностях трения смазку. Похожее свойство было также определено у аэрогелей синтетического происхождения [3].

Проведя анализ вышеперечисленных присадочных материалов, наиболее целесообразно для пар трения ходовой части гусеничных машин применять материалы, способные впитывать в себя смазку, и в дальнейшем по принципу "губки" поддерживать её концентрацию в зоне контакта деталей, а при повышенных температурах выделять диоксид кремния. Для данной цели подходят порошкообразный аэрогель и порошкообразный серпентинит. Данные материалы, даже в случае утечки смазочного материала через зазор или трещину смогут поддерживать работоспособное состояние лесной машины еще на протяжении определенного промежутка времени. Серпентинит является природным материалом, а аэрогель – синтетическим. Этим вызвана большая разница в цене между этими материалами, стоимость серпентинита – 500 р/кг, а аэрогеля – 3000 р/кг. Оба материала хорошо себя проявляют для снижения интенсивности изнашивания деталей в лабораторных условиях, однако ранее они не применялись для гусеничной техники в качестве присадок к трансмиссионным маслам.

Список литературы

1. Коптяков Д.А., Харисов Т.Ф. Исследование закономерностей прочностных характеристик серпентинитов Житикаринского месторождения // Проблемы недропользования. – 2020. – № 2(25). – С. 127-133.
2. Албагачиев А.Ю., Буяновский И.А., Дунаев А.В. Серпентины – как добавки к маслам: эффективность и механизм смазочного действия // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2021. – № 5. – С. 97-107.
3. Лермонтов С.А., Сипягина Н.А., Малкова А.Н. Влияние условий синтеза на свойства аэрогелей на основе метилтриметоксисилана // Журнал неорганической химии. – 2014. – Т. 59, № 12. – С. 1641.

Сведения об авторах:

Карасёв Юрий Анатольевич – аспирант;

Марков Виктор Александрович – к.т.н., доцент;

Гаузе Александр Александрович – к.т.н., профессор.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТРЕНИЯ НА ТЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛА ПРИ ОБЖИМЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ПЕРЕХОДА

Шишкин Д.О., Петров П.А.

Московский политехнический университет, Москва

Ключевые слова: переход эксцентрический, углеродистая сталь, холодная деформация, сопротивление деформации, компьютерное моделирование, поле Гартфилда, дефекты, возникающие в металле при штамповке, утолщение стенки.

Аннотация. В работе представлены результаты вычислительных экспериментов, направленных на исследование влияния контактного трения при пластической деформации на характеристики процесса обжима трубной заготовки. В результате реализации процесса обжима изготавливается эксцентрический переход. В данном исследовании штампованная деталь изготавливается из углеродистой стали 20 при температуре 20°C на гидравлическом прессе номинальной силой 1,6 МН. В компьютерной модели процесса обжима используются приповерхностные линии и поле Гартфилда для анализа заполнения формообразующей полости. Результаты вычислительных экспериментов позволяют выделить параметры, оказывающие влияние на появление дефектов – неоформление выходного диаметра перехода за счет отхода металла от формообразующего инструмента и утолщение стенки заготовки на выходном диаметре.

RESEARCH INTO THE INFLUENCE OF CONTACT FRICTION ON METAL FLOW DURING FORMING OF THE ECCENTRIC REDUSER

Shishkin D.O., Petrov P.A.

Moscow Polytechnical University, Moscow

Keywords: eccentric reducer, carbon steel, cold deformation, flow stress, computer modeling, Garfield factor, defects arising in metal during forging, wall thickening.

Abstract. The paper presents the results of computational experiments aimed at studying the influence of contact friction during plastic deformation on the characteristics of the forming process of a pipe blank. As a result of the forming, an eccentric reducer is manufactured. In this study, a forged part is produced from the carbon steel grade 20 at temperature of 20°C using a hydraulic press with a nominal force of 1.6 MN. A computer model of the forming process uses near-surface lines and the Garfield criterion to analyze the filling of the die cavity. The results of computational experiments make it possible to identify parameters that influence the appearance of defects - failure to form the exit diameter of the reducer due to metal moving away from the forming tool and thickening of the workpiece wall at the exit diameter.

Технологические процессы изготовления детали «Переход эксцентрический» претерпели множество новшеств. Исследованиями этой темы занимались многие исследователи. Одним из самых значимых исследований является способ изготовления трубных переходов из трубной заготовки методом совмещения обжима и раздачи [1, 2]. В [1, 2] работе описывается теоретическое и экспериментальное изучение процесса, при совмещении двух операций в одной.

В другой работе, выполненной Д.А. Алексеевым [3] рассмотрен технологический процесс получения эксцентрического перехода за счет выполнения операции обжим; исследовано влияние нескольких факторов (контактное трение, геометрия инструмента и исходной заготовки) на силовые параметры операции обжим с применением метода конечных элементов.

Целью статьи является исследование влияния контактного трения при холодной пластической деформации на характеристики процесса обжима трубной заготовки. В результате обжима заготовки изготавливается эксцентрический переход размером $\varnothing 57 \times 6 - \varnothing 32 \times 6$ (рис. 1).

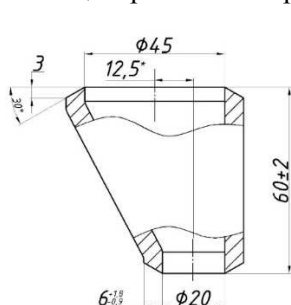


Рис. 1. Эскиз детали «Переход эксцентрический 57х6-32х6»

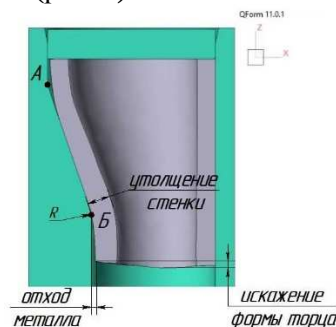


Рис. 2. Дефекты в очаге деформации при обжиге

Локализация деформации при обжиге наблюдается при переходе от конической поверхности к цилиндрической поверхности, определяемой выходным диаметром перехода (рис. 2). Коническая поверхность ограничена двумя основаниями, диаметр которых соответствует входному (D) и выходному (d) диаметрам перехода (см. рис. 2, точки А и Б через которые проходит диаметр D и d , соответственно).

В этой области при холодном пластическом формоизменении наблюдается утолщение металла и, как следствие, уменьшение внутреннего диаметра. Уменьшение внутреннего диаметра приводит к неоформлению из-за отхода металла от формообразующей поверхности матрицы. Величина неоформления (отхода) определяется параметром $t_{отх}$.

Наличие дефектов на штампованном изделии приводит к необходимости введения дополнительной обработки резанием до получения требуемого $\varnothing 20$ мм и калибровки внутреннего диаметра, что снижает эффективность технологического процесса. В качестве гипотезы предполагается изучить влияние контактного трения в месте локализации деформации и выделить параметры позволяющие усилить течение металла в направлении выходного диаметра для минимизации утолщения стенки в месте перехода от конической поверхности к выходному диаметру (см. рис. 2). В данной работе рассматриваем только первую операцию технологического процесса [4]: обжим исходной заготовки из бесшовной трубы $\varnothing 57$ мм до получения полуфабриката размером $\varnothing 57 \times 42$ мм с толщиной стенки 6 мм.

Разработка компьютерной модели изучаемой операции выполнена в программе QForm; заданы ключевые параметры технологической операции такие, как: значения начальной температуры заготовки, инструмента и окружающей среды, а также скорости деформирования, относящейся к оборудованию (гидравлический пресс с номинальной силой 2,50 МН). Функциональная зависимость сопротивления деформации углеродистой стали 20 (Carbon steel\20 cold) выбрана из базы данных программы QForm. Область определения значений модели: диапазон значений скорости деформации $[0,01; 500,0] \text{ с}^{-1}$, диапазон значений температуры $[20; 200]^\circ\text{C}$, диапазон значений деформаций $[0,04; 2,00]$. Расчет выполняется для фактора трения 0 и 0,5 при значении коэффициента теплопередачи $50000 \text{ Вт}/(\text{К} \times \text{м}^2)$. Варьируемые параметры – тепловой эффект (без учета/с учетом) и скорость деформирования, относящаяся к оборудованию. Значения скорости: 2 мм/с, 25 мм/с, 50 мм/с. Для каждого значения скорости рассматривается два случая: без учета теплового эффекта и с учетом теплового эффекта. Для оценки формирования дефектов (см. рисунок 2) применены несколько инструментов программы QForm: приповерхностные линии и поле Гартфилда [5], рассчитываемые в программе QForm.

На рисунке 3 показаны результаты обработки результатов расчета с применением компьютерной модели процесса обжим. Графики иллюстрируют влияние скорости деформирования и фактора трения на значение параметра $t_{отх}$. Причем в случае учета теплового эффекта пластической деформации наблюдается снижение значения параметра $t_{отх}$ при факторе трения равном 0,0 и скорости деформирования 2,0 мм/с.

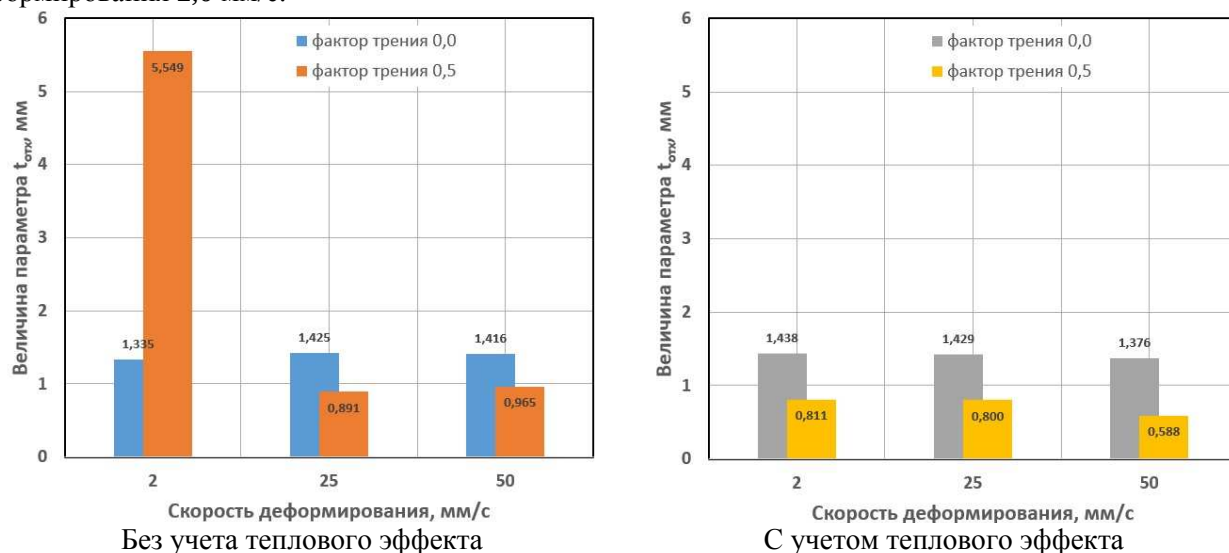


Рис. 3. Изменение значения параметра $t_{отх}$ в зависимости от фактора трения и скорости деформирования

Вывод и рекомендации

Проведенные вычислительные эксперименты позволяют сделать следующие выводы:

- 1) в программе QForm разработана компьютерная модель процесса обжим трубной заготовки, из которой изготавливается эксцентричный переход;
- 2) анализ течения при формировании выходного диаметра перехода показывает на его неполное оформление из-за отхода металла от формообразующей поверхности матрицы;
- 3) разработанная компьютерная модель процесса обжим учитывает расчет поля Гартфилда, позволяющего выполнить расчет растягивающих деформаций в направлении нормали к поверхности деформируемой заготовки и спрогнозировать по искажению линий течения формирование дефекта – неоформление за счет отхода металл.

Список литературы

1. Фролов В.Н. Штамповка полых конических деталей из труб // Прогрессивная технология холодноштамповочного производства: Сб. науч. трудов. – М.: Машгиз, 1956 – С. 38-42.
2. Фролов В.Н., Летник Ю.С. Заводское изготовление приварных фитингов. – М.: ГОСИНТИ, 1959. – 94 с.
3. Алексеев Д.А. Силовые параметры операции обжима при получении эксцентрического перехода. // Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №7-2 – С. 232-238.
4. Шишкин Д.О., Петров П.А.. Разработка конечно-элементной модели технологии изготовления детали «Переход эксцентрический». // Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – №12. – С. 591-597.
5. Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки: учебное пособие / под ред. А.В. Власова. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2019. – 383 с.

Сведения об авторах:

Шишкин Дмитрий Олегович – аспирант;

Петров Павел Александрович – к.т.н., доцент.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЛАКИРОВАННЫХ ЛИСТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЫ

Степанов К.П., Степанов В.В.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва

Ключевые слова: теплообменная аппаратура, пайка, высокотемпературная пайка, алюминиевые сплавы, плакирование, увеличение прочности паяных соединений.

Аннотация. Рассматривается применение алюминиевых сплавов для изготовления теплообменной аппаратуры, использование плакированных листов из алюминиевых сплавов, а также возможные припои для плакирования. Исследуется проблема использования более прочных сплавов для увеличения прочности теплообменных узлов и предлагается использование сплавов с максимально допустимой температурой нагрева под пайку более 600°C. Проведен анализ литературы, который показывает, что алюминиевые сплавы на базе системы Al-Mg-Sc-Zr могут быть использованы для получения паяных конструкций повышенной прочности. Также обсуждаются моменты коагуляции упрочняющих фаз и влияние температуры и времени пайки на прочность соединений.

STUDY OF POSSIBILITY OF MANUFACTURING OF CLAD SHEETS FROM ALUMINUM ALLOYS OF INCREASED STRENGTH FOR HEAT-EXCHANGE EQUIPMENT

Stepanov K.P., Stepanov V.V.

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow

Keywords: heat-exchange equipment, brazing, high-temperature brazing, aluminum alloys, cladding, increase of brazed joints strength.

Abstract. The use of aluminum alloys for the manufacture of heat-exchange equipment, the use of clad aluminum alloy sheets, and possible solders for cladding are considered. The problem of using stronger alloys to increase the strength of heat exchanger assemblies is investigated and the use of alloys with a maximum allowable brazing heating temperature of more than 600°C is proposed. A literature analysis is performed, which shows that aluminum alloys based on the Al-Mg-Sc-Zr system can be used to obtain brazed structures of increased strength. The moments of coagulation of hardening phases and the influence of brazing temperature and time on the strength of joints are also discussed.

В настоящее время теплообменная аппаратура из алюминиевых сплавов находит достаточно широкое применение во многих отраслях промышленности. Из-за высокой удельной прочности алюминиевые теплообменные аппараты имеют преимущества в изделиях транспортного машиностроения, авиации и космонавтике.

Для изготовления современных алюминиевых теплообменников в настоящее время достаточно широкое применение находят плакированные листы, представляющие собой лист основного материала с одной или двух сторон покрытый припоем. Современные алюминиевые плакированные листы, главным образом, изготавливают из низкопрочного термически неупрочняемого сплава АМц (зарубежный аналог сплав 3003), покрытого высокотемпературным припоем на основе эвтектического силумина. При этом, в зависимости от способа пайки, для которого предназначен плакированный лист, припои могут быть различны. Так, например, для флюсовой пайки в качестве припоя обычно используют сплав СИЛ-1С на основе системы Al-Si [1], а для вакуумной пайки – сплав 01315 на основе системы Al-Si с добавками магния. Использование такой композиции «основной металл-припой» связано с достаточно высокой температурой плавления припоев на основе эвтектического силумина (более 577°C), что требует использования сплавов с максимально допустимой температурой нагрева под пайку более 600°C.

Развитие современной техники приводит к увеличению условий эксплуатации, в частности рабочих давлений, и требует повышения прочности теплообменных узлов, что может быть достигнуто за счёт использования более прочных алюминиевых сплавов. Однако, в большинстве случаев, конструкционные алюминиевые сплавы обладают максимально допустимой температурой нагрева ниже 560°C, что делает невозможным использование наиболее широко распространённых припоев на основе эвтектического силумина. Использование более низкотемпературных припоев, например, на основе системы Al-Zn или Al-Cu-Mg не позволяют получать соединения с высоким комплексом механических и коррозионных свойств. В связи с этим для увеличения прочности паяных конструкций более перспективным является использование конструкционных сплавов с максимально допустимой температурой нагрева под пайку более 600°C [2]. Анализ литературы показал, что среди таких сплавов для изготовления паяных конструкций можно использовать сплавы повышенной прочности на основе системы Al-Mg с содержанием магния до 2-3% масс., легированные скандием и цирконием, и сплавы системы Al-Zn-Mg типа 1935, обладающие температурой солидуса выше 605°C.

На основании этого для изготовления паяных конструкций повышенной прочности было рассмотрено две группы сплавов, которые целесообразно использовать для получения плакированных листов.

Среди сплавов на основе системы Al-Mg-Sc-Zr для изготовления паяных конструкций наибольший интерес представляют сплавы 01515 и 1523 с максимальным содержанием магния 2,3% масс. Сплавы с более высоким содержанием магния обладают температурой солидус менее 600°C. Упрочняющее действие скандия на алюминиевые сплавы данной системы связано с дисперсионным твердением, вследствие распада пересыщенного твёрдого раствора скандия в алюминии и образования дисперсных фаз $\text{Al}_3\text{Sc}(\text{Zr})$, а также за счёт подавления процесса рекристаллизации и формирования мелкой субзёрненной структуры. Анализ литературы [2] показал, что прочность паяных соединений, выполненных из сплавов, легированных скандием, зависит от температуры и времени пайки, поскольку тепловой режим пайки может привести к коагуляции упрочняющих фаз. При этом процесс коагуляции является необратимым, что приводит к резкой потере прочности конструкции. Поэтому снижение температуры нагрева при пайке может обеспечить достижение более высокого уровня прочности.

Анализ второй группы материалов показал, что температура солидус сплавов системы Al-Zn-Mg зависит от процентного содержания цинка и снижается при его увеличении. Для изготовления паяных конструкций использовались сплавы 1911 и 1915, обладающие прочностными свойствами на 15-20 МПа больше, по сравнению со сплавом АМц. В связи с этим наибольший интерес для использования в паяных конструкциях представляет более прочный сплав 1935 с температурой солидус 610°C. Особенностью получения соединений подобной группы материалов является высокая испаряемость цинка при нагреве под пайку и химическая неоднородность паяного соединения [3]. В результате на поверхности таких сплавов возможно образование пузырей, что требует использования процессов пайки, характеризующихся короткими термическими циклами или использования сплавов, плакированных припоём.

На основании этого для проведения дальнейших исследований по оценке возможности получения плакированных листов повышенной прочности были выбраны сплавы 01523 и 1935, изготовленные на АО «ВИЛС». В качестве припоя был выбран СИЛ-1С, также производства АО «ВИЛС». Получение плакированных листов осуществлялось путём совместной прокатки двух листов припоя и основного материала с первоначальной степенью деформации примерно 60%. Раскатку плакированных листов осуществляли до толщины 1 мм. При проведении прокатки было определено, что сплав 1935 обладает более пластичными свойствами и позволяет получать плакированные листы с равномерным слоем припоя. На листах из сплава 01523 при прокатке до толщины 1,5-2 мм были обнаружены локальные отслоения покрытия припоя. Однако, по большей части поверхности листа покрытие припоя обладало высокой прочностью сцепления. В связи с этим можно заключить, что вероятной причиной образования локальных дефектов является неправильно выбранный режим и это требует дальнейшего изучения.

Для определения возможности получения паяных конструкций из полученных плакированных листов был изготовлен макет теплообменника, представляющий собой два листа из плакированного материала и установленный между ними гофр из сплава АМц. Пайка осуществлялась в воздушной печи с использованием флюса 34А. В результате внешнего осмотра паяных соединений было установлено формирование качественных швов, что подтверждает возможность их использования при изготовлении теплообменной техники.

Список литературы

1. Никитинский А.М. Пайка алюминия и его сплавов. – М.: Машиностроение, 1979. – 240 с.
2. Бажанов А.В., Горностаев И.Н., Степанов В.В., Хаджаев В.Д. Перспективы использования сплавов системы Al-Mg-Si при изготовлении паяных несущих конструкций бортовой аппаратуры космических аппаратов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 11. – С. 8-11.
3. Никитина Е.В., Фролов В.А., Степанов В.В., Предко П.Ю. Исследование структурной и химической неоднородности при сварке различных групп металлических материалов // Сварочное производство. – 2013. – № 10. – С. 4-9.

Сведения об авторах:

Степанов Константин Петрович – аспирант;

Степанов Владимир Валерьевич – к.т.н., доцент.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА МЕТОДОМ ИНФИЛЬТРАЦИИ

Биджев А.Г., Голиус Д.А., Маторин А.А., Виниченко В.О., Соколов Е.Г.
Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Ключевые слова: буровой инструмент, износостойкость, инфильтрация, твердость, наночастицы.

Аннотация. Изучена инфильтрация медью порошковых материалов WC-Co. В порошковые смеси вводили наночастицы вольфрама в количестве 7 мас.%. Содержание кобальта в материалах варьировалось от 0 до 5 мас.%. Пропитку медью в вакууме вели при температуре 1125°C. Структуру полученных образцов исследовали методом электронной микроскопии. Установлено, что полная инфильтрация медью достигается при содержании в материале не менее 3 мас.% кобальта. Полученный материал имеет твердость 24 HRC, более высокую, чем у аналогичных материалов, не содержащих нанопорошок вольфрама.

OBTAINING A NANOSTRUCTURED COMPOSITE MATERIAL BASED ON TUNGSTEN CARBIDE BY INFILTRATION

Bidzhev A.G., Golius D.A., Matorin A.A., Vinichenko V.O., Sokolov E.G.
Kuban State Technological University, Krasnodar

Keywords: drilling tool, wear resistance, infiltration, hardness, nanoparticles.

Abstract. Copper infiltration of WC-Co powder materials has been studied. Tungsten nanoparticles in the amount of 7 wt.% were introduced into the powder mixtures. The cobalt content in the materials varied from 0 to 5 wt.%. Copper impregnation in vacuum was carried out at a temperature of 1125°C. The structure of the obtained samples was studied by electron microscopy. It was found that complete infiltration of copper samples is achieved with a cobalt content of at least 3 wt.%. The hardness of the resulting material is 24 HRC and thus exceeds the hardness of similar materials that do not contain tungsten nanopowder.

Буровые коронки абразивного действия применяются в горнодобывающей, строительной и нефтегазовой промышленности [1]. Одной из актуальных проблем является повышение их износостойкости. Данная проблема может быть решена одним из способов: изменение геометрических параметров рабочей поверхности коронки или замена материала.

Рабочую часть буровых коронок изготавливают методом инфильтрации, который заключается в следующем – смесь порошка твердого сплава и алмазов, спрессовывают в графитовых или стальных формах, после чего пористую прессовку пропитывают более легкоплавким металлом (сплавом), таким как медь или бронза [1]. Этим методом можно получать буровые инструменты с рабочей поверхностью сложной формы. Матрицы буровых коронок получают в основном на основе твердых сплавов ВК15 или ВК20. Расплавы меди и бронзы плохо смачивают чистый карбид вольфрама [2], поэтому, для обеспечения смачивания и инфильтрации в твердом сплаве должно быть некоторое количество кобальта. Увеличение содержания кобальта способствует более стабильной пропитке материала, но при этом твердость, а, следовательно, и абразивная стойкость ухудшается. Твердость сплава ВК20, пропитанного медью, составляет около 20 HRC [3].

В связи с этим нами поставлена цель полностью или частично заменить кобальт в матрице бурового инструмента на вольфрам, который обладает высокой твердостью, отличается адгезионной активностью к алмазу и хорошо смачивается медью.

В ходе работы было приготовлено пять образцов с содержанием кобальта от 1 до 5 мас.% и один образец без добавки порошка кобальта. Для приготовления смесей были использованы порошки карбида вольфрама и кобальта со средним размером частиц 2 и 1,6 мкм соответственно. В смеси дополнительно вводили нанопорошок вольфрама с размером частиц 50-80 нм.

Указанные смеси уплотняли односторонним статическим прессованием в стальной пресс-форме при давлении 49 кПа. Полученные прессовки имели диаметр 21 мм, высоту 5 мм. Прессовки укладывали в графитовые формы, и помещали на них пропиточный материал в виде медных брикетов, объем последних составлял 50% от объема пропитываемого материала. Использовали технически чистую медь марки М0. Образцы нагревали в вакуумной печи до температуры 1125°C и выдерживали при этой температуре 20 минут. Остаточное давление в вакуумной печи поддерживали на уровне не более 0,13 Па. После инфильтрации готовили микрошлифы образцов и исследовали их на электронном микроскопе EVO HD15.

Были получены следующие результаты. Образцы с содержанием 1-2 мас.% кобальта и образец без кобальта – пропитались не на всю толщину. Образцы с содержанием 3-5 мас.% показали хорошую полную пропитку.

Микроструктура образца, содержащего 3 мас.% кобальта, представлена на рисунке 1. Изображение получено на электронном микроскопе с контрастом по атомным номерам элементов. Компоненты с более высоким атомным номером на изображении более светлые.

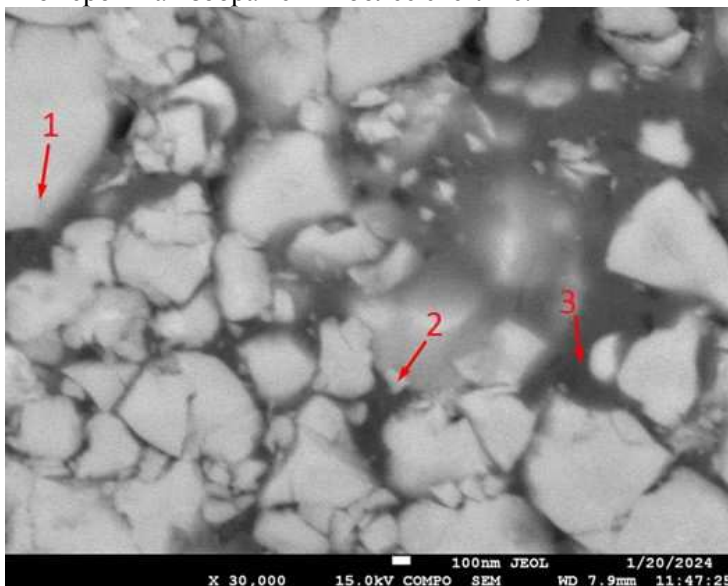


Рис. 1. Микроструктура образца, содержащего 3 мас. % кобальта (электронное изображение, увеличение $\times 30\,000$): 1 – частицы карбида вольфрама, 2 – наночастицы вольфрама, 3 – медь

Наиболее крупные частицы в структуре материала состоят из карбида вольфрама. Пространства между ними заполнены более мелким нанопорошком вольфрама. Тугоплавкие порошки соединены, «спаяны» между собой пропиточным материалом – медью. Зерна кобальта на рисунке 1 не наблюдаются. По-видимому, в процессе инфильтрации происходило растворение кобальта расплавом меди. В результате, жидкая фаза, обогащенная кобальтом, хорошо смачивала карбид вольфрама. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для обеспечения пропитки медью порошкового материала «карбид вольфрама – вольфрам» необходимо вводить в него не менее 3 мас.% кобальта.

Твёрдость полученного материала составляет 24 HRC и таким образом превосходит твёрдость аналогичных материалов, не содержащих нанопорошок вольфрама. В отличие от твердых сплавов ВК15 и ВК20, пропитанных медью [3], в структуре полученного материала не наблюдаются мягкие «пятна». Ожидается, что полученный материал благодаря повышенной твёрдости и однородной структуре будет обладать повышенной стойкостью к абразивному износу. При этом наночастицы вольфрама, распределённые в матрице обеспечат прочное соединение матрицы с алмазами.

Список литературы

1. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / под. ред. Н.В. Новикова и С.А. Клименко – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Sidorenko D.A., Levashov E.A., Kuptsov K.A., Loginov P.A., Shvyndina N.V., Skryleva E.A. Conditions for the in-situ formation of carbide coatings on diamond grains during their sintering with Cu-WC binders // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2017, vol. 69, pp. 273-282.
3. Полушин Н.И., Богатырев А.В., Лаптев А.И., Сорокин М.Н. Влияние состава, структуры и свойств матриц на стойкость алмазного бурового инструмента // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2016. – № 1. – С. 60-66.

Сведения об авторах:

Биджев Артем Григорьевич – студент;

Голиц Дмитрий Александрович – аспирант;

Маторин Анастас Альбертович – аспирант;

Виниченко Владислав Олегович – аспирант;

Соколов Евгений Георгиевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении.

СТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ FE-CR-CU-SN

*Магда А.В., Марченко В.Д., Соколов Е.Г.**Кубанский государственный технологический университет, Краснодар***Ключевые слова:** алмазный абразивный инструмент, композиционный материал, механическая активация.

Аннотация. В настоящей работе была поставлена задача разработать новую металлическую связку для алмазного инструмента, обладающую высокими механическими свойствами и способностью прочно удерживать алмазные зерна. В качестве основных компонентов были выбраны Fe и Cr. Для снижения температуры спекания в материал были введены порошки Sn и Cu. Из полученных образцов готовили микрошлифы, исследовали их на сканирующем электронном микроскопе и измеряли микротвердость структурных составляющих. Проведенные исследования показали, что механическая активация Cr совместно с порошком Cu обеспечила смачивание и растворение Cr жидкой фазой при спекании. Ожидается, что насыщение жидкой фазы Cr обеспечит хорошее смачивание зерен алмаза при спекании метало-алмазного композита. Полученный материал не обладает достаточной твердостью, необходимой для связок алмазно-абразивных инструментов, обрабатывающих твердые керамики. В связи с этим планируется дальнейшие исследования по дисперсионному упрочнению сплава.

STRUCTURE AND HARDNESS OF SINTERED MATERIALS FE-CR-CU-SN

*Magda A.V., Marchenko V.D., Sokolov E.G.**Kuban State Technological University, Krasnodar***Keywords:** diamond abrasive tool, composite material, mechanical activation.

Abstract. In this work, the task was set to develop a new metal bond for diamond tools that has high mechanical properties and the ability to firmly hold diamond grains. Fe and Cr were chosen as the main components. To reduce the sintering temperature, Sn and Cu powders were introduced into the material. Microsections were prepared from the obtained samples, examined with a scanning electron microscope, and the microhardness of the structural components was measured. The conducted studies showed that the mechanical activation of Cr together with Cu powder ensured the wetting and dissolution of Cr by the liquid phase during sintering. It is expected that saturation of the liquid phase with Cr will ensure good wetting of diamond grains during sintering of a metal-diamond composite. The resulting material does not have sufficient hardness required for combinations of diamond abrasive tools processing hard ceramics. In this regard, further research on dispersion strengthening of the alloy is planned.

В современном машиностроении расширяется применение абразивных инструментов из сверхтвердых материалов, что обусловлено необходимостью обработки изделий из твердых керамик, минеральных и композиционных материалов. В связи с этим существует потребность в эффективном алмазном абразивном инструменте. В настоящей работе была поставлена задача разработать новую металлическую связку для алмазного инструмента, обладающую высокими механическими свойствами и способностью прочно удерживать алмазные зерна.

Для выбора компонентов связок был проведен анализ диаграмм состояния двойных сплавов. На основании этого в качестве основных компонентов были выбраны Fe и Cr. Их выбор обусловлен тем, что они карбидообразующие по отношению к алмазу и их введение создаст условия для их прочной адгезии.

Порошки Fe и Cr имеют высокие температуры спекания ($> 1100^{\circ}\text{C}$), при которых наблюдается графитизация и деструкция алмазов. Для снижения температуры спекания в материал были введены порошки Sn и Cu. Их роль в спекаемом материале – образование жидкой фазы при спекании, обеспечивающей перегруппировку твердых частиц и усадку спекаемого материала при более низких температурах.

Соотношение компонентов представлено в таблице 1.

Табл. 1. Химический состав исследуемого материала

Компонент	Cr	Cu	Fe	Sn
Отношение, мас. %	16	15	64	5

Такое соотношение Cu и Sn, согласно диаграммам состояния, должно обеспечивать образование жидкой фазы при температурах спекания выше 410°C .

Для приготовления порошкового материала использовали порошок Cr марки X98, состоящий из частиц осколочной формы со средним размером около 400 мкм. Известно, что на поверхности Cr образуются стойкие оксидные пленки, препятствующие спеканию порошков. В связи с этим порошок Cr и Cu подвергали совместной механической активации в центробежной шаровой мельнице марки АГО-2У. Механическую активацию проводили при частоте вращения 400 об/мин в течение 40 минут. При этом происходило дробление хрупких частиц Cr и сваривание их с частицами Cu.

Затем механоактивированные порошки смешивали с порошками Fe и Sn. Из полученной смеси получали методом статического прессования образцы цилиндрической формы, диаметром и высотой 21 мм. Спекание образца производилось в вакууме при температуре 850°C в течение 1 часа.

Из полученных образцов готовили микрошлифы и исследовали их на сканирующем электронном микроскопе EVO HD15. Микротвёрдость структурных составляющих измеряли вдавливанием пирамиды Виккерса под нагрузкой 50 г на твердомере DuraScan 80. Твёрдость образцов измеряли по методу Роквелла (шкала «В») на твердомере ТК-2М. Плотность образцов определяли, как отношение массы к объему.

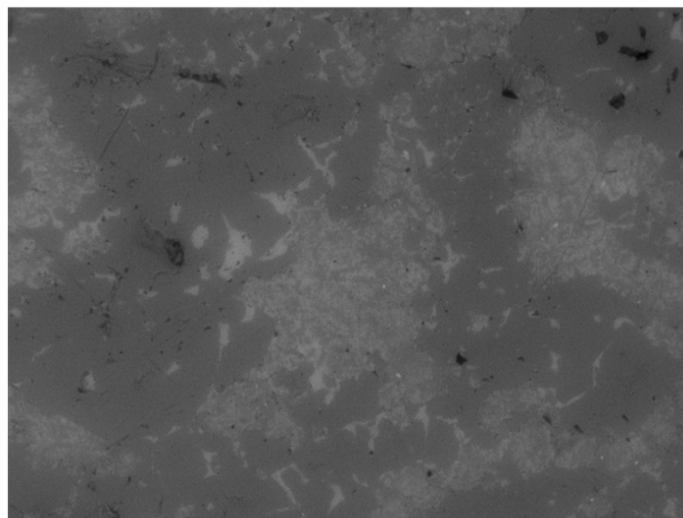


Рис. 1. Структура полученного образца

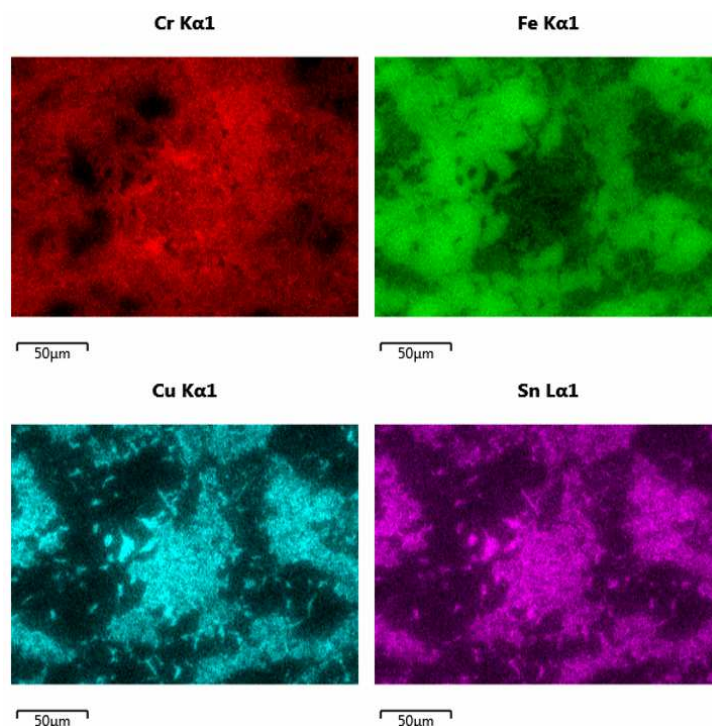


Рис. 2. Карта распределения химических элементов

В структуре образца наблюдаются частицы Fe, частицы Cr и медно-оловянная составляющая, охватывающая частицы Cr и Fe. Микрорентгеноспектральный анализ показывает, что в медно-оловянной составляющей растворено некоторое количество Cr. Структура материала однородна.

По-видимому, структура материала сформировалась следующим образом. При нагреве до температуры спекания расплавились частицы Sn. Взаимодействие Sn и Cu привело к образованию медно-оловянной жидкой фазы, которая смачивала частицы Fe и Cr. Часть Cr при этом растворилась в жидкой фазе. Образование жидкой фазы способствовало перегруппировке частиц Fe и Cr и усадке спекаемого материала. В результате получен спеченный материал с невысокой пористостью, составляющей 3,1%.

Микротвердость частиц Fe составляет около 108 HV. Измерение микротвердости частиц Cr технически невозможно в связи с их малыми размерами. Микротвердость медно-оловянной составляющей, в которой распределены мелкодисперсные частицы Cr составляет 141-160 HV. Общая твердость полученного материала составляет 48-50 HRB.

Выводы:

1. Проведенные исследования показали, что механическая активация Cr совместно с порошком Cu обеспечила смачивание и растворение Cr жидкой фазой при спекании.

2. Ожидается, что насыщение жидкой фазы Cr обеспечит хорошее смачивание зерен алмаза при спекании метало-алмазного композита.

3. Полученный материал не обладает достаточной твердостью, необходимой для связок алмазно-абразивных инструментов, обрабатывающих твердые керамики. В связи с этим планируется дальнейшие исследования по дисперсионному упрочнению сплава.

Список литературы

1. Инструменты из сверхтвердых материалов / под. ред. Н.В. Новикова и С.А. Клименко – М.: Машиностроение, 2014. – 608 с.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т. 1 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Т. 2 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1997. – 1024 с.
4. Scott P.M., Nicolas M., Dewar B. The wetting and bonding of diamonds by copper-base binary alloys // Journal of materials science. 1975, no.10, pp. 1833-1840.

Сведения об авторах:

Магда Андрей Викторович – аспирант;

Марченко Вячеслав Дмитриевич – аспирант;

Соколов Евгений Георгиевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры инженерии систем управления, материалов и технологий в машиностроении.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВАЛЕНТНОГО СОСТОЯНИЯ ИОНОВ МАРГАНЦА В НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОМ МАНГАНИТЕ ЛАНТАНА

Рудский Д.И., Вербенко И.А., Белокобыльский М.В., Галатова А.О., Царик М.А., Лебединская А.Р., Рудская А.Г.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Ключевые слова: твердофазный синтез, манганит лантана, нестехиометрия, твердые растворы, рентгеноструктурный анализ, ионы марганца Mn^{3+} и Mn^{4+} .

Аннотация. В работе методом *in situ* приготовлены образцы нестехиометрического манганита лантана, химическая формула которого в общем виде может быть представлена как $La_{1-x}Mn^{3+}_{1-y}Mn^{4+}_yO_{3-z}$. С использованием методов рентгеноструктурного и кристаллографического анализа, а также, применяя теорию перколяции, к оценкам параметров нестехиометрии, установили, что химическая формула в этом случае имеет вид – $La_{0,97}Mn^{3+}_{0,91}Mn^{4+}_{0,09}O_3$.

DETERMINATION OF THE VALENCE STATE OF MANGANESE IONS IN NON-STOICHIOMETRIC LANTHANUM MANGANITE

Rudskiy D.I., Verbenko I.A., Belokobylsky M.V., Galatova A.O., Tsarik M.A., Lebedinskaya A.R., Rudskaya A.G.

Southern Federal University, Rostov-on-Don

Keywords: solid-phase synthesis, lanthanum manganite, nonstoichiometry, solid solutions, X-ray diffraction analysis, manganese ions Mn^{3+} and Mn^{4+} .

Abstract. In this work, samples of nonstoichiometric lanthanum manganite were prepared using the *in situ* method, the chemical formula of which in general can be represented as $La_{1-x}Mn^{3+}_{1-y}Mn^{4+}_yO_{3-z}$. Using the methods of X-ray diffraction and crystallographic analysis, as well as applying the theory of percolation to estimates of nonstoichiometry parameters, it was established that the chemical formula in this case is $La_{0,97}Mn^{3+}_{0,91}Mn^{4+}_{0,09}O_3$.

Среди соединений и твердых растворов, кристаллизующихся с разными структурными типами наиболее привлекательными представляются Mn-содержащие структуры типа перовскита. В ряде таких структур выявлены различные сочетания сегнетоэлектрических, сегнетоэластических, сегнетомагнитных, магнитных, полупроводниковых, сверхпроводниковых и других физических свойств, которые важны при разработках материалов нового поколения для их применения в современной микро- и нанoeлектронике.

Анализ многочисленных обзоров по структурам и физическим свойствам Mn-содержащих перовскитов показывает, что до сих пор обсуждается проблема валентного состояния ионов Mn в Mn-содержащих соединениях и в твердых растворах на их основе [1-5]. При этом специальные исследования проводятся по определению роли вакансий при отклонениях от стехиометрии составов. Эти проблемы являются важными как при создании базовых ферроиков ($LaMnO_3$, $Y MnO_3$, $BiFeO_3$ и др.), так и при приготовлении на их основе твердых растворов.

В первых работах по исследованию Mn-содержащих твердых растворов на основе манганита лантана $La_{1-x}A_xMnO_3$ с замещением ионов La на двухвалентные элементы Ca, Sr, Ba выявлен эффект колоссальной магнеторезистивности, наблюдаемый при x порядка 0,2-0,4 [6]. Этот эффект связывается с существованием в данных твердых растворах ионов Mn^{3+} и Mn^{4+} с концентрациями соответствующими концентрациям ионов La^{3+} и двухвалентных ионов типа A^{2+} . Соотношения концентраций ионов Mn^{3+} и Mn^{4+} определяют механизмы транспортных свойств в магнитных полях.

Создание нестехиометрических составов $La_{1-x}Mn_{1-y}O_{3-z}$ может приводить к формированию кристаллических фаз с ионами Mn^{3+} и Mn^{4+} в разных концентрациях в зависимости от исходного состава, вида прекурсоров, а также от термодинамической предыстории – температур, времен, атмосферы отжига, которые определяют виды и концентрации дефектов. Можно ожидать, что свойства таких нестехиометрических составов будут подобны свойствам твердых растворов $La_{1-x}A_xMnO_3$ (A – Ca, Sr, Ba и т.д.) стехиометрических составов.

В качестве объектов исследований мы использовали составы $La_{1-x}Mn_{1-y}O_{3-z}$, приготовленных по обычной керамической технологии.

Твердофазный синтез образцов проводили непосредственно в температурной камере на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М (Cu-K α -излучение), с регистрацией дифракционных картин при разных температурах в интервале $25 \leq T_{syn} \leq 1180^\circ C$ с шагом $\Delta(2\theta) = 0,04^\circ$, и временем набора импульсов в каждой точке $\tau = 1$ с). Фрагменты рентгенодифракционных профилей, записаны в интервале углов 2θ от 20 до 70 градусов, при разных последовательных температурах нагрева образца.

С использованием метода рентгеноструктурного анализа, обнаружено, что при температуре отжига стехиометрической смеси $\text{La}(\text{OH})_3$ и MnO_2 равной 400°C образуется кубическая перовскитовая фаза (P_0) с аномально большим параметром ячейки ($a_c = 4,09 \text{ \AA}$). В интервале температур от 500 до 600°C образуются фазы P_1 ($\text{LaMn}^{3+}\text{O}_3$), и P_2 ($\text{La}_{2/3}\text{Mn}^{4+}\text{O}_3$) о чем свидетельствуют параметры ячеек фаз P_1 и P_2 ($a_1 = 3,855 \text{ \AA}$, $a_2 = 3,762 \text{ \AA}$, $T = 600^\circ\text{C}$). Фазы P_1 и P_2 при температурах порядка 1000°C переходят в одну перовскитовую кубическую фазу нестехиометрического состава. Степень нестехиометрии состава $\text{La}_{1-x}(\text{Mn}^{3+}_{1-y}\text{Mn}^{4+}_y)\text{O}_{3-z}$ (x, y, z – параметры нестехиометрии) изменяется в зависимости от температуры, времени и атмосферы отжига.

Важнейшим элементом исследований нестехиометрических составов является достоверное определение истинного состава изучаемых объектов. В соответствие с задачами работы проведены исследования влияния нестехиометрии LaMnO_3 на содержание Mn^{3+} и Mn^{4+} . Для решения этой задачи потребовалась разработка метода контроля нестехиометрии в $\text{La}_{1-x}\text{Mn}_{1-y}\text{O}_{3-z}$ по рентгендифракционным данным с определением концентраций катионов La и ионов Mn^{3+} , Mn^{4+} в образцах. В качестве основного подхода использованы экспериментальные данные по синтезу LaMnO_3 из разных прекурсоров с регистрацией *in situ* рентгендифракционных профилей.

Мы провели кристаллографический анализ нестехиометрии составов $\text{A}^{3+}_{1-x}\text{A}^{3+}_x\text{B}^{3+}_{1-y}\text{B}^{4+}_y\text{O}^{2-}_3$, опираясь на представлениях об упругой кристаллической решетке и экспериментальных данных, полученных нами для параметров решетки соответствующих образцов для уточнения нестехиометрических параметров x и y . Расчеты параметров нестехиометрии проводились при приближениях 1) стехиометричность по кислороду; 2) электронейтральность структур; 3) учёта только ионных взаимодействий и 4) линейной зависимости температур ян-теллеровского перехода от содержания ионов Mn^{4+} .

В образце LaMnO_3 , синтезированном методом *in situ* при температуре $T = 1180^\circ\text{C}$, средний параметр кубической ячейки при комнатной температуре $a_{\text{эксп}} = 3,887 \text{ \AA}$. Теоретический параметр, вычисленный для стехиометрического состава LaMnO_3 с учетом длин ненапряженных межатомных связей и коэффициентов жесткости связей, имеет большую величину $a_{\text{выч}} = 3,937 \text{ \AA}$. Для нестехиометрического состава $\text{A}^{3+}_{1-x}\text{A}^{3+}_x\text{B}^{3+}_{1-y}\text{B}^{4+}_y\text{O}^{2-}_3$ предполагается уменьшение параметра ячейки за счет того, что часть ионов Mn^{3+} становится ионами Mn^{4+} с меньшим ионным радиусом. Можно найти зависимость среднего параметра a от нестехиометрических коэффициентов x и y , длин ненапряженных межатомных связей и коэффициентов жесткости этих связей.

Используя электроотрицательности химических элементов по системе Полинга и формальные валентности ионов мы получили, что $x = 0,03$, $y = 0,09$, а химическая формула нестехиометрического LaMnO_3 , приготовленного твердофазным синтезом в этом случае имеет вид $\text{La}_{0,97}\text{Mn}^{3+}_{0,91}\text{Mn}^{4+}_{0,09}\text{O}_3$.

Применение теории перколяции к оценкам параметров нестехиометрии по линейной зависимости температуры ян-теллеровского перехода от концентрации ионов Mn^{4+} для этого состава приводит к величине $y = 0,08$. Таким образом, оценка нестехиометрических коэффициентов разными способами значительно повышает достоверность полученных результатов.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности. Проект № FENW-2023-0010/Г30110/23-11-ИФ). Использовано оборудование Центра коллективного пользования НИИ физики Южного федерального университета «Электромагнитные, электромеханические и тепловые свойства твердых тел».

Список литературы

1. Dagotto E. Nanoscale phase separation and colossal magnetoresistance: the physics of manganites and related compounds. – Springer-Verlag, Berlin, 2002. – 463 p.
2. Coey J.M.D., Viret M., Molnar S. Mixed-valence manganites // *Advances in Physics*. 1999, vol. 48, no. 2, pp. 167-293. doi.org/10.1080/000187399243455.
3. Gor'kov L.P., Kresin V.Z. Mixed-valence manganites: fundamentals and main properties // *Physics Reports*. 2004, vol. 400, pp. 149-208. doi.org/10.1016/j.physrep.2004.08.003.
4. Salamon M.B., Jaime M. The physics of Manganites: Structure and transport // *Rev. Modern Physics*. 2001, vol. 73, pp. 583-612. doi.org/10.1103/RevModPhys.73.583.
5. Izyumskaya N., Alivov Ya., Morkoc H. Oxides, Oxides, and more Oxides: High-κ Oxides, Ferroelectrics, Ferromagnetics, and Multiferroics // *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*. 2009, vol. 34, pp. 89-179. doi.org/10.1080/10408430903368401.

6. Wollan E.O Koehler W.C. Neutron diffraction study of the magnetic properties of the series of perovskite-type compounds $[\text{La}_{(1-x)}\text{Ca}_x]\text{MnO}_3$ // Phys. Rev. 1955, vol. 100, pp. 545-563. doi.org/10.1103/physrev.100.545.

Сведения об авторах:

Рудский Даниил Игоревич – аспирант;

Вербенко Илья Александрович – д.ф.-м.н., директор научно-исследовательского института физики;

Белокобыльский Марк Вячеславович – аспирант;

Галтова Анастасия Олеговна – аспирантка;

Царик Максимилиан Александрович – магистрант;

Лебединская Алла Робертовна – к.ф.-м.н., заведующий кафедрой;

Рудская Анжела Григорьевна – д.ф.-м. н., профессор физического факультета.

К ВОПРОСУ ОБ ИСТОЧНИКАХ ЗАГРЯЗНЯЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ИХ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Кузьмин О.С.¹, Куликова Е.С.²

¹*Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск;*

²*Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск*

Ключевые слова: источники загрязнения, железнодорожный транспорт, отгрузка, нефтепродукты, безопасность, экология, нефть, вагон-цистерна, рекуперация, бетонное покрытие

Аннотация. Отгрузка продуктов нефтепереработки из железнодорожных цистерн является заключительным этапом их транспортировки и осуществляется на специализированных сливных эстакадах. Помимо риска возникновения чрезвычайных ситуаций этот этап сопряжен с загрязняющим воздействием на прилегающие территории промышленной зоны, а также воздействием на природную среду в целом. В статье представлены результаты анализа негативного воздействия основных источников на окружающую среду при выполнении операций слива нефтепродуктов из железнодорожных цистерн. Актуальность и научная новизна работы заключается в выявлении новых, не обозначенных в существующих исследованиях источников негативного воздействия слива нефтепродуктов, а также в определении закономерностей и факторов, способствующих их образованию

SOME QUESTIONS ABOUT THE SOURCES OF POLLUTING EFFECTS OF PETROLEUM PRODUCTS DURING THEIR TRANSPORTATION BY RAIL

Kuzmin O.S.¹, Kulikova E.S.²

¹*Far Eastern State Transport University, Khabarovsk;*

²*Pacific National University Pacific, Khabarovsk*

Keywords: sources of pollution, railway transport, shipment, oil products, safety, ecology, oil, tank car, recovery, concrete pavement.

Abstract. Shipment of oil products from railway tank cars is the final stage of their transportation and is carried out on specialised discharge racks, where in addition to the risk of emergencies is associated with a constant polluting impact on the state of adjacent territories, represented by residential and industrial areas, as well as the natural environment. The article presents the results of the analysis of the negative impact of the main sources on the environment during the operations of oil products discharging from railway tank cars. The relevance and scientific novelty of the work consists in revealing new, not indicated in the existing studies sources of negative impact of oil products discharge, as well as in determining the regularities and factors contributing to their formation

Введение

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», в ближайшие 10-15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации следует считать направления, которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, обеспечив, в том числе «возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития» (п. 20, ж) [1].

Для решения поставленной задачи, а также для «обеспечения снижения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в соответствии с нормативами в области охраны окружающей среды, которого можно достигнуть на основе использования наилучших доступных технологий с учетом экономических и социальных факторов» [2].

Отгрузка нефтепродуктов из железнодорожных цистерн конечному потребителю представлена технологическим процессом по их опорожнению, сопровождаемому вскрытием люков, а также периодическим возникновением несанкционированных локальных разливов. Вместе с тем в соответствии с приказом Ростехнадзора от 15 декабря 2020 года № 529 [3], к газоопасным работам относятся операции, в том числе связанные с разгерметизацией технологического оборудования, проведение которых сопровождается выделением в рабочую зону пожаровзрывоопасных или вредных веществ (паров, газов).

Основная часть

Слив нефтеналивных грузов является заключительным этапом организации их перевозок [4] и осуществляется на специализированных участках, именуемых сливными эстакадами (рис. 1).

В отличие от открытого самотечного слива нефтепродуктов через переносные желоба [5], опорожнение железнодорожных цистерн со светлыми легковоспламеняющимися продуктами нефтепереработки осуществляется через закрытую систему, обеспечиваемую специальными сливными устройствами (далее УСН), выполненными в виде шарнирно-сочлененных трубопроводов [6], технологически связанных с единым сливным коллектором через который нефтепродукты из железнодорожных цистерн поступают в резервуарный парк.



Рис. 1. Общий вид эстакады слива железнодорожных цистерн

При этом сам процесс «закрытого» слива на эстакадах может выполняться как самотечным способом, когда нефтепродукт сливается под гидростатическим давлением жидкости, находящейся в котле цистерны, так и принудительным, то есть при помощи центробежного насоса [7].

Необходимо отметить, что каким бы образом не был организован этот производственный процесс, его реализация связана с источниками загрязняющего воздействия, которые оказывают отрицательное влияние на состояние окружающей среды. Одним из таких источников выступает загрязнение, образованное выделением паров отгружаемых нефтепродуктов в атмосферу как наиболее часто возникающее в связи с особенностью процесса отгрузки.

Такая особенность отгрузочного процесса обусловлена прежде всего требованиями безопасности, согласно которым слив груза через нижний сливной прибор при закрытой крышке люка запрещается в целях недопущения разряжения в котле цистерны [8], а также конструктивным строением самой сливной системы цистерны.

Отмеченные условия протекания отгрузки создают постоянные, непрекращающиеся испарения нефтепродуктов и соответственно серьезной загрязняющей нагрузки. При этом, несмотря на то, что данный вопрос является малоизученным, некоторые существующие исследования все же позволяют теоретически определить численный показатель объемов таких загрязнений.

Помимо негативного влияния, образованного выделением паров нефтепродуктов при их сливе, ущерб окружающей среде наносится и в результате несанкционированных локальных разливов. Очагом возникновения указанных факторов выступают места соединения головки УСН и универсального сливного прибора вагона-цистерны, собираемое обслуживающим персоналом вручную на этапе подготовки к отгрузке (рис. 2).

Один из основных источников, способствующий возникновению и развитию негативного сценария, состоит прежде всего в человеческом факторе, проявляющимся в ошибках персонала при подключении устройства слива к сливному прибору, вызванных недостатком необходимого опыта или его переизбытком.

Разливы, как правило, происходят из-за полного или частичного смещения устройства слива с последующим выбросом продукта через полученное отверстие. При этом необходимо отметить, что наиболее частым характером протекания рассматриваемого источника является именно частичная разгерметизация, представленная зазорами различной площади, образуемыми в собранных соединениях.

Проведя расчетные действия методом последовательных приближений для времени разлива (t) 42 секунды (сценарий полного срыва УСН) и 5 минут (частичная разгерметизация), были получены следующие объемы пролитого нефтепродукта (табл. 1.)

Табл. 1. Результаты расчетов объемов истечения нефтепродуктов

(40 сек) приполной разгерметизации соединения (срыв УСН)		G(5мин) при частичной разгерметизации соединения (образование зазора)	
Данные с нарастанием			
время, сек	объем разлива, м ³	время, мин	объем разлива, м ³
8	0,99	1	0,312
16	1,79	2	0,608
24	2,38	3	0,886
32	2,78	4	1,146
40	2,98	5	1,390

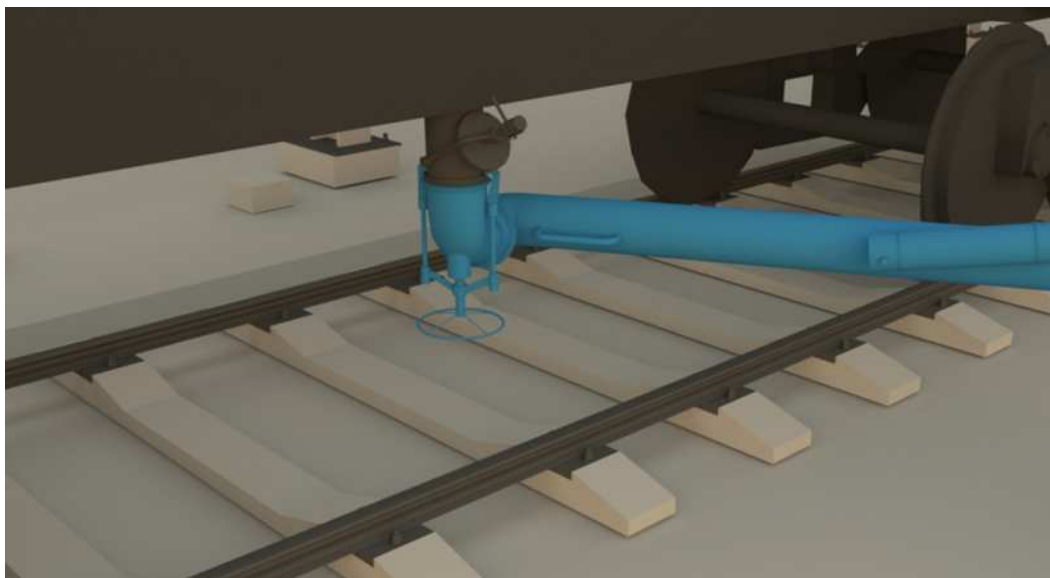


Рис. 2. Узел соединения УСН – сливной прибор

Исходя из данных, приведенных в таблице 1, можно сделать вывод о том, что аварийные разгерметизации различного характера, возникающие при отгрузке нефтепродуктов, даже за короткий промежуток времени способны достичь внушительных объемов разливов и которые способны распространиться на значительные площади. Также указанные условия сопровождаются выходом нефтепродукта за пределы бетонной площадки участка с последующей инфильтрацией углеводородных жидкостей в почву или грунт, интенсивное испарение которых наносит труднопоправимый вред окружающей среде и природе в целом.

Заключение

В результате анализа воздействия загрязнения в процессе отгрузки нефтепродуктов по железной дороге, авторы пришли к выводу, что негативное воздействие на окружающую среду обусловлено как утечками нефтепродуктов в атмосферу через открытые люки цистерн-вагонов, так и несанкционированными разливами, возникающими из-за неплотных соединений между устройствами слива и приборами для слива.

Список литературы

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации / Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 // Справ. – правовая система «Консультант Плюс».
2. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция).
3. Приказ Ростехнадзора от 12.12.2020 № 528 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасного ведения газоопасных, огневых и ремонтных работ» (Зарегистрировано в Минюсте России 28.12.2020 № 528).
4. Кузьмин О.С., Луценко А.Н., Куликова Е.С. Обоснование необходимости повышения уровня безопасности перевозок нефтепродуктов железнодорожным транспортом на территории Дальнего Востока // Транспортное дело России. – 2023. – № 5. – С. 257-259. – DOI 10.52375/20728689_2023_5_257.
5. Коршак А.А., Шаммазов А.Н. Основы нефтегазового дела. – М.: Учебник для вузов. – 3-е изд., испр. и доп. – Уфа.: ООО «Дизайн-ПолиграфСервис», 2005. – 528 с.
6. Безбородов Ю.Н., Петров О.Н., Сокольников А.Н., Фельдман А.Л. Технологическое оборудование для АЗС и нефтебаз: В 2 частях. Часть 2. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2015. – 172 с.
7. Киселев Н.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М.: Госэнергоиздат, 1950. – 340 с.

Сведения об авторах:

Кузьмин Олег Сергеевич – аспирант;

Куликова Елена, Сергеевна – старший преподаватель.

ОТКРЫТЫЕ И ЗАКРЫТЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ГРУНТОВ ЗОНЫ АЭРАЦИИ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Чертес К.Л., Сеянко А.П.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: геосреда, объекты накопленного экологического вреда, экскавация, ликвидация загрязнений, высоконапорная промывка, цементация.

Аннотация. Хозяйственная деятельность приводит к загрязнению верхних горизонтов геосреды. Глубина загрязнения почв, грунтов зоны аэрации, напорных и безнапорных подземных вод, а также водоемов в области их разгрузки, варьирует от отметок земной поверхности до глубин первого водоупора. В отдельных случаях, загрязнения проникают через водоупоры и аккумулируются в нескольких водоносных горизонтах на глубинах в десятки и даже сотни метров. Возникает необходимость полной ликвидации загрязнений, накопленных в геосреде в течение длительного воздействия со стороны объектов накопленного экологического вреда (ОНЭВ).

OPEN AND CLOSED METHODS FOR CLEANING AERATION ZONE SOILS FROM ORGANIC CONTAMINANTS

Chertes K.L., Seyanko A.P.

Samara State Technical University, Samara

Keywords: geo-environment, objects of accumulated environmental damage, excavation, pollution elimination, high-pressure washing, cementation.

Abstract. Economic activity leads to pollution of the upper horizons of the geo-environment. The depth of contamination of soils, soils of the aeration zone, pressure and non-pressure groundwater, as well as reservoirs in the area of their discharge, varies from the marks of the earth's surface to the depths of the first aquitard. In some cases, contaminants penetrate through aquitards and accumulate in several aquifers at depths of tens and even hundreds of meters. There is a need to completely eliminate pollution accumulated in the geoenvironment during long-term exposure to objects of accumulated environmental damage (OAED).

Источниками загрязнений грунтов выступают аварийные проливы из инженерных коммуникаций, утечки жидкого сырья и продуктов из резервуарных парков, инфильтраты из техногенных образований шламонакопителей, хвостохранилищ, полигонов бытовых и промышленных отходов, а также других объектов накопленного экологического вреда (ОНЭВ) [1, 2].

Источник загрязнения грунтов ликвидируют сравнительно легко и производят рекультивацию поверхности.

Наиболее проблематичной выступает ликвидация загрязнений в породах зоны аэрации, начиная с глубин более 10 м, где затруднено применение открытых методов, например, экскавации. В этом случае используют так называемые «закрытые» методы очистки грунтов: промывку, пропарку, повышение самоочищения грунтов подземными водами с использованием высоконапорных методов подачи реагентов [3]. Данные методы не нарушают механическую сплошность грунтов, однако способствуют переводу «защемленных» в порах и капиллярах грунта загрязнений в раствор с последующим оттоком и сопряжены с необходимостью сбора и последующей очистки загрязненных подземных вод [4].

В отдельных случаях применяют капсулирование, устройство геотехнических завес, цементации грунтов, их силикатизации и других методов связывания загрязнений в толще геосреды [5-7].

После экскавации загрязненных грунтов (наиболее распространенный «открытый» метод) их размещают на гидроизолированном участке поверхности в виде гряд, штабелей, буртов, вносят специальные реагенты, добавки, микроорганизмы и производят обезвреживание химическими или биохимическими методами [8].

Наиболее распространенный «закрытый» метод, примененный авторами на практике – высоконапорная промывка, а также и цементация загрязненных грунтов через сети перфорированных скважин с дренажем по технологии «Jet-grouting» [6, 9].

Важно отметить, что ликвидация загрязнений в геосреде с использованием высоконапорных технологий не везде применима. Имеет место учет фильтрационно-реологических характеристик восстанавливаемой территории.

В результате анализа шламовых тел и загрязненной геосреды авторами было выделено семь типов фрагментов (см. таблицу 1). Отнесение фрагментов накопителей было предложено в соответствии с существующими типизациями пористых сред, вязких материалов и жидкостей по фильтрационно-реологическим показателям.

Табл. 1. Фильтрационно-реологические характеристики наиболее характерных образцов, отобранных из шламонакопителя г. Чапаевска [9]

№ п/п	Описание фрагмента	Водопроницаемость, м ²	Тип среды	Динамич. вязкость, Па·с · 10 ³ при 5,0±2,0°С	Типология реологических свойств жидкого флюида
1	Шлам W-(60,0-80,0)±5,0%; C _{орг} <10,0%	K _{пр} >10 ⁻⁸	Очень сильно-водопроницаемая	м<100	Ньютоновский тип вязкости
2	Шлам W-(60,0-80,0)±5,0%; C _{орг} 30,0±5,0%, а так же его смесь с песком, C _{орг} < 10%	10 ⁻⁹ <K _{пр} <10 ⁻⁸	Сильно-водопроницаемая	1000<м>100	Преимущественно ньютоновский тип вязкости
3	Смесь шлама с песком W-(30,0-60,0)±5,0%; 10%<C _{орг} < 30%	10 ⁻¹⁰ <K _{пр} <10 ⁻⁹	Сильно-водопроницаемая	5000<м>1 000	Переходный между ньютоновским и дилатантным типом вязкости; возможна тиксотропия
4	Смесь шлама с обводненной глиной W-(30,0-60,0)±5,0%; C _{орг} (10,0-30,0)±5,0%;	10 ⁻¹¹ <K _{пр} <10 ⁻¹⁰	Водопроницаемая	10000<м>5 000	Дилатантный тип вязкости, тиксотропия
5	Смесь шлама с обводненной глиной; W-(10,0-30,0)±5,0%; C _{орг} (30,0-60,0)±5,0%	10 ⁻¹² <K _{пр} <10 ⁻¹¹	Средне-проницаемая	50000<м>10 000	Дилатантный тип вязкости, тиксотропия, возможны реопексия и вязкоупругость
6	Глина, загрязненная инфильтратом из шлама; W- 10,0±5,0%; Орг.вещество <30,0±5,0%	10 ⁻¹³ <K _{пр} <10 ⁻¹²	Слабо-водопроницаемая	100000<м>50 000	Переходный между дилатантным и бингамовским типом вязкости, обратимая реопексия, вязкоупругость
7	Глина, загрязненная инфильтратом из шлама; W- 5,0±1,0%; Орг.вещество <5,0±1,0%	10 ⁻¹⁴ <K _{пр} <10 ⁻¹³	Водо-непроницаемая	м>100 000	Бингамовский тип вязкости, необратимая реопексия

Конечным итогом исследования является создание комплексных специализированных предприятий по очистке загрязненных грунтов, которые позволят восстановить территории, нарушенные в результате воздействия ОНЭВ. На данных предприятиях проектируются узлы и сооружения, использующие как «открытые», так и «закрытые» методы очистки загрязненных грунтов.

Список литературы

- Капелькина Л.П., Бардина Т.В. Подходы к проведению исследований объектов накопленного экологического вреда // Биосфера. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 184-192. – doi.org/10.24855/biosfera.v15i3.827.
- Чертез К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Шишкин В.Я., Михасек А.А., Петренко Е.Н., Букин А.А., Сергеева А.В., Шерстобитов Д.Н. Геоинженерная защита территорий, нарушенных объектами накопленного экологического вреда // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 4. – С. 10-15. – doi.org/10.18412/1816-0395-2020-4-10-15.
- Патент №2752983 РФ. Способ очистки нефтезагрязненного грунта с применением высоконапорной технологии / О.В. Тупицына, К.Л. Чертез, В.Н. Пыстин, Е.Н. Петренко, А.А. Букин, Д.Н. Шерстобитов, Д.Е. Быков, Г.Г. Гилаев. – Заявка №2020135452 от 27.10.2020; опубл. 11.08.2021, Бюл. №23.
- Чертез К.Л., Сеянко А.П., Букин А.А. Ресурсосберегающие технологии при ликвидации бездействующих накопителей отходов нефтегазовой отрасли // Современные проблемы теории машин. – 2023. – № 16. – С. 19-24. – doi.org/10.26160/2307-342X-2023-16-19-24.
- Захаров С.В., Радченко В.Г., Семенов Ю.Д., Сулимов В.С., Смоленков В.Ю., Таймасханов А.М. Метод струйной цементации в гидротехническом строительстве // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 4. – С. 2-11.
- Шишкин В.Я., Погорелов А.Е. Применение струйной геотехнологии при реконструкции объектов в условиях городской застройки // Интеграл. – 2011. – № 3. – С. 124-128.
- Абрамова Т.Т. Силикатизация структурно-неустойчивых грунтов (часть 1) // Инженерная геология. – 2017. – № 6. – С. 34-45.

8. Быков Д.Е., Тупицына О.В., Гладышев Н.Г., Зеленцов Д.В., Гвоздева Н.В., Самарина О.А., Цимбалюк А.Е., Чертес К.Л. Комплекс биодеструкции нефтеотходов // Экология и промышленность России. – 2011. – № 3. – С. 33-34.
9. Чертес К.Л., Букин А.А., Сеянко А.П., Мальцева А.А. Теоретические предпосылки обращения с экосистемами, сформированными выведенными из эксплуатации шламонакопителями // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: Сборник докладов Международной научной конференции, Алушта-Белгород, 05-09 июня 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 43-54.

Сведения об авторах:

Чертес Константин Львович – д.т.н., профессор;

Сеянко Артём Петрович – магистрант.

МОНИТОРИНГ ВОЗДЕЙСТВИЯ ШУМА НА РАБОЧЕГО ПРИ БУРЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН КУСТА № 3 НА ЧЕРПАЮСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Гончарук М.А., Волкова Е.И.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: шум, бурение, месторождение, оценка, источники шума, эксплуатационные скважины.

Аннотация. В данной статье проводится оценка воздействия шума при бурении нефтяных скважин с помощью анализа карт аттестации рабочих мест и программного комплекса «Эколог-Шум». Целью исследования является снижение воздействия шума при бурении эксплуатационных скважин куста №3 на Черпаюском месторождении. Для оценки было использовано: инвентаризация основных источников шума при бурении и измерение шума исследуемой территории. По окончании работы будут предложены мероприятия по защите от воздействия шума.

MONITORING OF THE IMPACT OF NOISE ON THE WORKER DURING DRILLING OF PRODUCTION WELLS OF BUSH № 3 AT THE CHERPAYUSKOYE FIELD

Goncharuk M.A., Volkova E.I.

Samara State Technical University, Samara

Keywords: noise, drilling, field, assessment, noise sources, production wells.

Abstract. This article discusses the analysis of pollution of surface water bodies in the Orenburg region using biotesting. The purpose of the study is to assess the degree of contamination of surface water bodies in the Orenburg region. The following methods were used for the assessment: inventory of the main noise sources during drilling and measurement of the noise of the studied area. At the end of the work, noise protection measures will be proposed.

Для оценки уровня звукового давления, а так же других параметров на объектах строительства проводился анализ карт аттестации рабочих мест на производстве с аналогичным набором технологического оборудования (буровой станок МБУ 3200/200 Д-ЭРМ, УНБТ-600 – 2 шт., сварочный трансформатор АДД-300, котел ПКН-2М). Согласно картам аттестации рабочих мест звуковое давление на бурильщиков различных категорий составляет 79-85,4 дБ, на сварщика – 70 дБ, на оператора котельной – 77,4 дБ, на слесаря – 73 дБ.

Для оценки физического (акустического) воздействия выполнен расчет воздействия воздействия шума от выявленных источники с использованием программного комплекса «Эколог-Шум» (версия 2.6) разработанного фирмой «Интеграл», г. Санкт-Петербург.

Инвентаризация источников шума куста скважин №3 Черпаюского месторождения показали, что основными источниками шума на период буровых работ являются: буровая установка, насосный блок, сварочный трансформатор и котельная ПКН-2С (табл. 1).

Оценка уровня звукового давления при бурении для куста скважин №3 на Черпаюском месторождении проводилась на территории рабочей площадки, на границе санитарно-защитной зоны и в 2-ух метрах от вагон-домика на территории административно-бытовых помещений (табл. 2).

Табл. 1. Уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на буровой.

№	Объект	Уровни звукового давления (мощности, в случае R = 0), дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц										L _a	В расчете
		Дистанция замера (расчета) R (м)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1	БУ	2,0	74,0	77,0	79,0	80,0	76,0	73,0	72,0	70,0	66,0	80,0	Да
2	Насосный Блок	2,0	73,0	76,0	78,0	79,0	75,0	72,0	71,0	69,0	65,0	79,0	Да
3	Сварочный трансформатор	1,0	64,0	67,0	69,0	70,0	66,0	63,0	62,0	60,0	56,0	70,0	Да
4	Котельная	1,5	71,4	74,4	76,4	77,4	73,4	70,4	69,4	67,4	63,4	77,4	Да

Согласно СП 51.13330.2011, норма звукового давления для рабочего места составляет 80 дБА, таким образом, при реализации настоящих проектных решений возможно превышение допустимых показателей звукового давления на 2,4 дБА на рабочем месте бурильщиков [1].

Эквивалентный уровень звука L_a 2-ух метрах от вагон – домика на территории административно-бытовых помещений равен 27 дБА, что не превышает значение допустимого эквивалентного уровня.

Эквивалентный уровень звука L_a на границе СЗЗ составляет 22,8 дБА. Значения допустимого уровня звукового давления в соответствующей октавной полосе и эквивалентный уровень звука не превышает нормативные значения в любое время суток [2].

Табл. 2. Результаты в расчетных точках

Расчетная точка		Высота (м)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L_a
N	Название											
1	Р,Т, в 2-ух метрах от вагондомика	1,50	25,7	28,6	30,2	30,6	25,5	20,3	14,7	2,8	0	27,00
2	Р,Т, на рабочей площадке	1,50	71,1	74,1	76	79	76,8	73,6	70,1	68,2	60,6	82,40
3	Р,Т, на границе СЗЗ	1,50	22,6	25,5	26,9	27	21,4	15,2	7,8	0	0	22,80

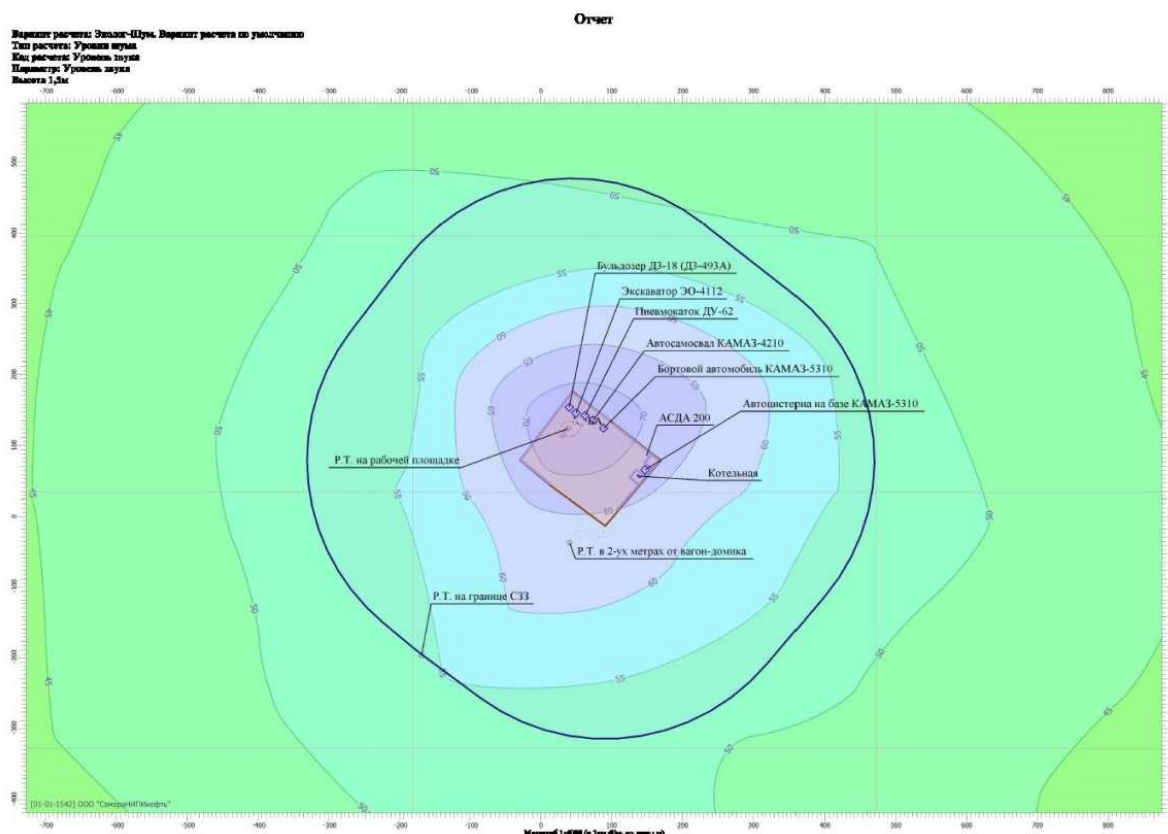


Рис. 1. Ситуационная карта-схема с указанием расчетных точек и уровней шума

В связи с превышением значений шумовых характеристик на рабочей площадке применяются мероприятия по снижению воздействия шума на персонал.

Требуемое снижение уровня звукового давления на рабочей площадке составляет 2,4 дБ. Принимая во внимание, что расчет уровней шумового воздействия произведен на наихудший вариант – одновременное использование всей задействованной строительной техники, а также, учитывая, мероприятия по уменьшению шумового воздействия строительной техники на площадке (все оборудование перед началом работ должно быть надлежащим образом отрегулировано и смазано, предусматривается использование только современного оборудования), распределение строительной техники, производящий шум, равномерно по строительной площадке, для уменьшения концентраций шумового эффекта, применение строительной техники с электро- и гидроприводом, использованием глушителей для двигателей, улучшение качества подъездных и внутривозрадных дорог. Эти мероприятия позволяют снизить уровень шумового воздействия примерно на 10-15 дБа, что более чем достаточно для достижения нормативного значения [3].

На территории, где шум не может быть снижен, предусмотрена установка специальных знаков и применение индивидуальных средств защиты (ИСЗ).

Для членов буровой бригады предусмотрены следующие средства индивидуальной защиты от шума и вибрации: наушники противошумные ВЦНИИОТ-1 (защита от шума 85-100 дБ) и противошумовые вкладыши беруши (Кимрская фабрика им. Горького), снижение шума на 10-15 дБ для частот до 500 Гц, 12-20 дБ для частот более 500 Гц.

В соответствии с вышеизложенным необходимо учитывать и то, что действие техногенных шумов при строительстве проектируемой скважины носит кратковременный характер [4].

Список литературы

1. СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» – М.: Минрегион России, 2011.
2. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации от 28 января 2021 года N 2).
3. Жукова Е.В., Куренкова Г.В., Потапова М.О. Шум как гигиеническая и социальная проблема: учебное пособие. – Иркутск: ИГМУ, 2020. – 56 с.
4. ГОСТ 12.2.024-87 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Трансформаторы силовые масляные. Нормы и методы контроля». – 1987.

Сведения об авторах:

Гончарук Мария Андреевна – студент;

Волкова Екатерина Игоревна – студент.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ ВЛИЯНИИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Гончарук М.А., Волкова Е.И.

Самарский государственный технический университет, Самара

Ключевые слова: нефтешламы, амбары, отходы, окружающая среда, экологические риски.**Аннотация.** В данной статье проводится оценка экологических рисков при воздействии нефтесодержащих отходов. Целью исследования является оценка экологических рисков при разливе нефтешламовых амбаров. Для оценки была использована инвентаризация стационарных источников Правдинского месторождения. По окончании работы будут предложены методы минимизации негативного воздействия на окружающую среду.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISKS IN THE PRESENCE OF OILY WASTE

Goncharuk M.A., Volkova E.I.

Samara State Technical University, Samara

Keyword: oil sludge, barns, waste, environment, environmental risks.**Abstract.** In this article, an assessment of environmental risks is carried out when exposed to oily waste. The purpose of the study is to assess the environmental risks associated with the spill of oil sludge barns. An inventory of stationary sources of the Pravdinsky deposit was used for the assessment. At the end of the work, methods will be proposed to minimize the negative impact on the environment.

При построении процесса идентификации и оценки экологических рисков эффективным методом является применение системного анализа, предполагающего рассмотрение источников опасностей, самого риска, потенциально опасных работ и возможных последствий как единого целого.

Общий алгоритм работы по идентификации и оценке экологических рисков при системном подходе включает пять этапов:

1. Идентификация конкретных экологических опасностей.
2. Описание тяжести экологической опасности.
3. Оценка величины риска.
4. Идентификация мероприятий по предупреждению наступления опасного события.
5. Оценка остаточного риска.

Одним из источников негативного воздействия на окружающую природную среду являются нефтешламовые амбары. В результате хранения нефтешламов в амбарах (схема нефтешламового амбара представлена на рисунке 1) происходит загрязнение почвы и воздуха углеводородами, поверхностных и грунтовых вод – солеными растворами. Длительное хранение отходов в этих объектах представляет потенциальную экологическую опасность, потому что при разрушении обваловки, при переполнении амбаров талыми и ливневыми водами, при эрозионных процессах дна и стенок происходит загрязнение природной среды [1].

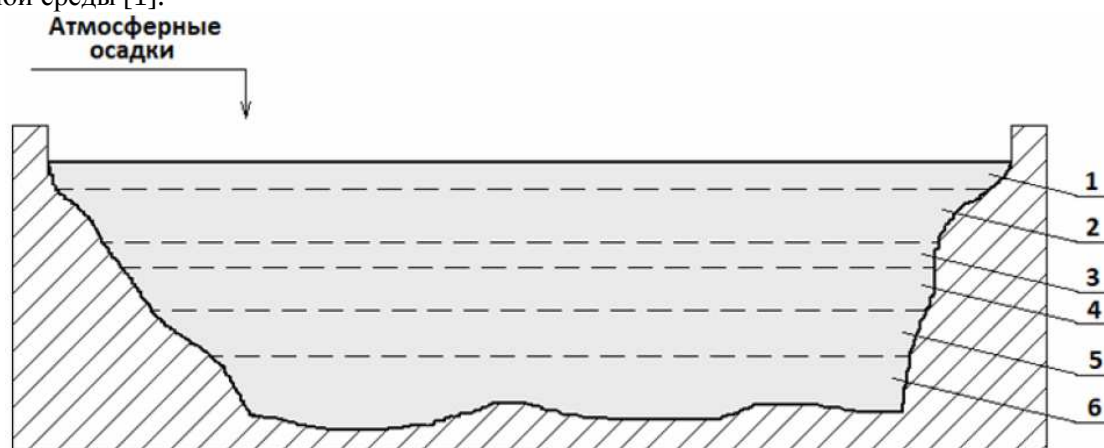


Рис. 1. Схема нефтешламового амбара: 1 – нефтемазутный слой; 2 – водный слой; 3 – свежешламовочный черный слой; 4 – эмульсионно-шламовый слой; 5 – суспензионно-шламовый слой; 6 – битумно-шламовый слой

В таблице 1 представлена характеристика воздействия на окружающую среду нефтешламовых амбаров

Углеводороды, образуемые в почве в результате природных процессов, не приводят к негативным воздействиям на почвенный биоценоз, в отличие от углеводородов, поступающих в окружающую среду в

результате антропогенной деятельности, вносящей существенный вклад в нарушение биологических экосистем [2].

Табл. 1. Воздействие нефтешламовых амбаров

Компоненты окружающей среды, на которые оказывается воздействие	Характеристика воздействия
Атмосферный воздух	- испарение легких фракций нефтепродуктов с поверхности шламового амбара;
Подземные (грунтовые) и поверхностные воды	- при атмосферных осадках и снеготаяния происходит переход растворимых солей из шлама в водные растворы с миграцией этих веществ в водные горизонты;
Почвы	- подавление самоочищения почвы; - нарушение биологического равновесия; - изменение pH; - токсическое воздействие на экосистему;
Растительный покров	- угнетение корневой системы; - снижение количества микроорганизмов;
Животный мир	- нарушение биоты; - изменение условий жизни вплоть до исчезновения; - вынужденная миграция животных;

Для понимания процессов, происходящих под воздействием углеводородов, необходимо анализировать свойства почвы ненарушенных земель, сохранивших комплекс почвенных характеристик в равновесном состоянии.

Понимание воздействия нефтесодержащих отходов на окружающую природную среду является важным шагом к разработке эффективных стратегий по их управлению и минимизации негативного воздействия. Для этого существуют различные методы оценки, такие как физико-химический метод, биологический метод, компьютерное моделирование, которые позволяют анализировать и прогнозировать последствия загрязнения нефтью [3, 4].

Для минимизации экологических рисков при воздействии нефтесодержащими отходами следует активно применять меры предупреждения аварийных ситуаций, использовать передовые технологии очистки загрязнений.

Список литературы

1. Коршунова Т.Ю., Логинов О.Н. Нефтешламы: состояние проблемы в Российской Федерации и методы снижения их отрицательного воздействия на окружающую среду // Экобиотех. – 2019. – Т. 2, №1. – С.75-85.
2. Бадикова А.Д., Мухамадеев Р.У., Ширяева Р.Н., Мустафин А.Г., Рулло А.В., Ибрагимов И.Г. Спектральные методы анализа для изучения состава нефтешламов // SOCAR Proceedings – 2019. – №4. – С.32-38.
3. Яровенко Э.Е., Катульский Ю.Н. Сравнительная характеристика основных методов утилизации и переработки нефтесодержащих отходов // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – 2016. – Т. 1, №1. – С. 386-393.
4. ГОСТ Р 56828.43-2018 НДТ. Утилизация и обезвреживание нефтесодержащих отходов. Показатели для индексации. – 2018.

Сведения об авторах:

Гончарук Мария Андреевна – студент;

Волкова Екатерина Игоревна – студент.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ НАГРУЗОК В НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

Азимов Х.Х.

Комсомольский-на-Амуре государственный университет, Комсомольск-на-Амуре

Ключевые слова: непосредственный электропривод, нагрузка, математическое описание, уравнения движения, механическая характеристика.

Аннотация. В статье рассматривается математическое описание различных нагрузок рабочей машины, возникающих в особой группе электроприводов – непосредственном электроприводе возвратно-поступательного движения. Приведены сведения о типах и видах нагрузок для непосредственных электроприводов, описаны основные нагрузочные характеристики. Показано, что описание нагрузочной характеристики позволяет оптимизировать выходные показатели электропривода.

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF LOADS IN DIRECT ELECTRIC DRIVES

Azimov Kh.Kh.

Komsomolsk-na-Amure State University, Komsomolsk-on-Amur

Keywords: direct electric drive, load, mathematical description, equations of motion, mechanical characteristic.

Abstract. The article deals with the mathematical description of various working machine loads arising in a special group of electric drives - direct reciprocating electric drive. Information on types and kinds of loads for direct electric drives is given, the main load characteristics are described. It is shown that the description of the load characteristic allows optimizing the output performance of the electric drive.

Введение

Математическое описание нагрузок в непосредственных передачах важно для проектирования и расчета механизмов и машин. Оно помогает определить величины и направления сил, действующих на компоненты привода и трансмиссии, а также учесть динамические факторы, такие как ускорение, торможение и силы инерции [1].

Характеристики механической части определяют выходные параметры привода: статический или динамический момент M , угловую скорость ω , силу F , линейную скорость v , перемещение x время t . В качестве дополнительных параметров рассматриваются моменты, создаваемые силами трения, сжатия, растяжения, кручения неупругих тел (реактивные моменты, меняющие направление при изменении направления движения), моменты силы тяжести, сжатия, растяжения, кручения упругих тел (активные, потенциальные). Активные моменты возникают в нагруженных элементах, таких как валы, шестерни и другие, когда они деформируются из-за неабсолютной жесткости механических связей [1].

Основная часть

Непосредственные приводы – это системы, в которых двигатель и нагрузка соединены напрямую, без использования вынесенных механических передач. Это означает, что энергия передается от двигателя к нагрузке без дополнительных потерь в передаточном устройстве [2].

В целом, нагрузки в прямых приводах можно разделить на несколько основных типов [2].

1. Статические нагрузки: это постоянные силы F или моменты M , действующие на систему в состоянии покоя или при постоянной скорости. Они могут быть вызваны силой тяжести, трением или жесткостью механических компонентов [3].

2. Динамические нагрузки: это переменные силы или моменты, которые изменяются во времени в результате ускорения или замедления движения. Они могут быть вызваны внешними воздействиями, такими как вибрация или удар, или внутренними процессами, такими как изменение физических параметров объекта [3].

3. Внешние нагрузки: это силы или моменты, действующие на систему извне, например, от рабочих инструментов или связанных с ними механизмов [3].

4. Внутренние нагрузки: это силы или моменты, действующие на систему изнутри, например, от сил упругости или инерции элементов конструкции.

5. Инерционная нагрузка: нагрузка, обусловленная массой и ускорением движущихся частей механизма или рабочей машины.

6. Ударная нагрузка: Внезапное приложение силы, вызывающее ударную нагрузку на механизм или рабочую машину.

7. Вязкое трение: нагрузка, связанная с вязким трением между движущимися частями механизма или рабочей машины.

Приведены примеры нагрузок и их математическое описание [3].

Основное уравнение движение непосредственных электроприводов.

Линейные механические характеристики. Математическое описание нагрузок РО, имеющих линейную характеристику нагрузок:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \Delta v; \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{1}{m} [S \cdot (p - p_1) - k_v \cdot \Delta v - k \cdot \Delta x]; \\ \frac{dp}{dt} &= \frac{E}{V} \left[\mu \pi d_z k_p \cdot \frac{K_{FJ}}{C_{emp}} (J \cdot \sin(\omega t) - K_{OC} \cdot \Delta x) \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_1) - S \cdot \Delta v} \right],\end{aligned}$$

где m – масса; S – площадь; Δv – ускоренит; Δx – перемещение; p, p_1 – давления соответственно в напорной и в сливной полостях; k_v – коэффициент вязкого трения; μ – коэффициент расхода золотника; d_z – диаметр плунжера золотника; k_p – коэффициент использования периметра золотника; K_{FJ} – коэффициент усиления электромагнитного преобразователя электрогидравлического усилителя; C_{emp} – жесткость пружины электромеханического преобразователя; J – амплитуда токового сигнала управления; ω – частота токового сигнала управления; K_{OC} – коэффициент обратной связи электромагнитного усилителя; V, V_1 – значения объемов соответственно напорной и сливной полостей; E – эффективный модуль упругости рабочей жидкости; ρ – плотность рабочей жидкости.

Линейная зависимость силы от перемещения $F(x)$ может быть характерна для некоторых типов нагрузок, особенно для систем с пружинами или другими элементами, демонстрирующими упругое поведение [3].

Логарифмические характеристики:

$$\begin{aligned}\frac{d\bar{x}}{dt} &= \Delta \bar{v}; \\ \frac{d\bar{v}}{dt} &= (\bar{x}_n + 1) \cdot \Delta \bar{p} - 2\xi \cdot \Delta \bar{v} - \Delta \bar{x}; \\ \frac{d\bar{p}}{dt} &= \bar{T} \cdot \left[1 + \Delta \bar{k} - (1 + \Delta \bar{x}) \cdot \sqrt{1 + d \bar{p}} \right] - \bar{\tau} \cdot \Delta \bar{v},\end{aligned}$$

где $\bar{x}_n$ – начальная затяжка пружины; $\bar{\tau}$ – постоянная времени; $\bar{T}$ – времени; $\Delta \bar{p}$ – давления.

Гиперболические характеристики. Математическое описание нагрузок РО, имеющих гиперболическую характеристику нагрузок:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \Delta v; \\ \frac{dv}{dt} &= \frac{1}{m} [S \cdot (p - p_1) - k_v \cdot \Delta v - k \cdot \Delta x]; \\ \frac{dp}{dt} &= \frac{E}{V} \left[J \cdot \sin(\omega t) - K_{OC} \cdot \Delta x \right] \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_1) - S \cdot \Delta v}.\end{aligned}$$

Гиперболическая зависимость характерна для механизмов, в которых момент сопротивления нелинейно уменьшается с увеличением скорости перемещения [3].

Нелинейные характеристики. Математическое описание нагрузок РО, имеющих сложный характер нагрузки [3]:

$$\begin{aligned}\frac{d^2 x}{dt^2} &= S \cdot (p - p_1) - k_v \cdot \frac{dx}{dt} - mg - F; \\ \mu \pi d_z k_p \cdot \frac{K_{FJ}}{C_{emp}} (J \cdot \sin(\omega t) - K_{OC} \cdot \Delta x) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_1)} &= S \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{V}{E} \cdot \frac{dp}{dt}; \\ S \cdot \frac{dx}{dt} &= \mu \pi d_z k_p \cdot \frac{K_{FJ}}{C_{emp}} (J \cdot \sin(\omega t) - K_{OC} \cdot \Delta x) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (p - p_1)} + \frac{V_1}{E} \cdot \frac{dp_1}{dt},\end{aligned}$$

где F – внешняя сила.

Заключение

Математическое описание характерных нагрузок в прямых приводах позволяет более точно прогнозировать поведение системы, проектировать эффективные системы управления в различных условиях эксплуатации и оптимизировать ее параметры для достижения требуемых характеристик. Это, в свою очередь, приводит к повышению производительности, точности и надежности приводов в различных областях применения.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 24-29-00089, <https://rscf.ru/project/24-29-00089>).

Список литературы

1. Матросов А.В. Анализ режимов многомашинного электрогидравлического привода затвора гидротурбины // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2016. – № 1(238). – С. 19-27. – doi.org/10.5862/JEST.238.2.
2. Алексеев А.Е., Петухов С.В., Баланцева Н.Б., Калиничева О.А., Радюшин В.В., Бабкин И.М., Кришьянис М.В. Исследование возможности применения линейного асинхронного двигателя для привода пильного суппорта обрезного станка // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 19. – С. 107-115. – doi.org/10.26160/2658-3305-2023-19-107-115.
3. Ким К.К., Иванов С.Н., Азимов Х.Х. Алгоритмические основы исследования электромагнитных процессов в электроприводе герметичной задвижки // Российская Арктика. – 2024. – Т. 6, № 1(24). – С. 14-25. – doi.org/10.24412/2658-4255-2024-1-14-25.

Сведения об авторе:

Азимов Хурсандмурод Хакимович – аспирант.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРОБОВАНИЕ КРАНОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ И АЛГОРИТМОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

Ракипов Р.Ф., Иксанов И.Х.

Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа

Ключевые слова: цифровая трансформация, газораспределительная станция, комплексное опробование, информационно-управляющие системы, магистральный газопровод, газораспределительная станция.

Аннотация. Цифровая трансформация производства становится общемировым трендом, реализующим полноценный переход на современные электронные формы хранения и обработки информации. В этом тренде осуществляется комплексная автоматизация производства, создаются информационные ресурсы, реализуется полноценная интеграция всех систем и сервисов, внедряются математические модели процессов, применяются инструменты «искусственного интеллекта».

AUTOMATED TESTING OF CRANES OF THE LINEAR PART OF MAIN GAS PIPELINES AND ALGORITHMS OF GAS DISTRIBUTION STATIONS

Rakipov R.F., Iksanov I.Kh.

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa

Keywords: digital transformation, gas distribution station, integrated testing, information and control systems, main gas pipeline, gas distribution station.

Abstract. The digital transformation of production is becoming a global trend that implements a full-fledged transition to modern electronic forms of information storage and processing. In this trend, complex automation of production is being carried out, information resources are being created, full integration of all systems and services is being implemented, mathematical models of processes are being introduced, and "artificial intelligence" tools are being used.

Большинство видов периодических и сезонных работ, выполняемых на объектах газотранспортных предприятий на данный момент не в полной мере обеспечено информационными ресурсами и автоматизацией. Тем временем, значение этих работ для надежной работы газотранспортной системы трудно переоценить. От качества организации, выполнения и контроля периодических работ на объектах магистральных газопроводов (МГ) в немалой степени зависит безаварийность и бесперебойность поставок газа. Таким образом, процесс организации периодических работ обладает большим потенциалом в плане повышения эффективности и качества, тем более что для этого могут быть задействованы уже имеющиеся ресурсы средств и систем автоматизации предприятий.

На сегодняшний день газотранспортные предприятия ПАО «Газпром» обладают высоким уровнем автоматизации своих объектов. Продолжается внедрение, реконструкция, модернизация и развитие систем автоматизации технологических процессов (АСУТП), объектов магистральных газопроводов. Средствами АСУТП обеспечивается возможность непрерывного контроля, защиты от опасных режимов, автоматического и дистанционного управления технологическими объектами газотранспортной систем предприятий.

Активно внедряются и развиваются вертикально-интегрированные информационно-управляющие системы (ИУС), способствующие эффективному управлению бизнесом и ресурсами компании – человеческими, материальными, финансовыми.

Рассматриваемые на примере организации комплексных опробований ГРС «Газпром трансгаз Уфа» функции АСУТП, системы диспетчерского управления (СДУ) и ИУС иллюстрируют перспективный подход к цифровой трансформации производственных процессов газотранспортного предприятия.

Высокие стандарты безопасности и надежности ГРС накладывают на эксплуатирующие организации большие требования по объему и качеству организации планово-профилактических работ. Минимум 4 раза в год проводится обязательное техническое обслуживание, включающее осмотры, инструментальные замеры, опробование функционирования основных технических устройств, устранение мелких замечаний, оформление исполнительной документации. 2 раза в год выполняются комплексные опробования работоспособности ГРС с проверкой предупредительной, аварийной сигнализации, алгоритмов управления и защит, работоспособности жизненно-важных систем. Удаленный контроль осуществляется сменным персоналом диспетчерских служб ЛПУ МГ (ДС), а также производственно-диспетчерской службы (ПДС) администрации Общества с использованием данных АСУТП. Регистрация результатов осуществляется в ДС, ПДС, линейно-эксплуатационных службах или службах по эксплуатации ГРС в журналах, актах и протоколах установленных форм. Нельзя забывать и про «человеческий фактор», негативно сказывающийся на качестве работ и содержании итоговых

документов. Удаленный контроль диспетчерскими пунктами также сопровождается некоторыми техническими ограничениями.

Между тем необходимо, чтобы комплексные опробования ГРС выполнялись персоналом в полном объеме, предусмотренном проектной, технической и производственной документацией по унифицированным стандартизованным методикам. На решение вышеперечисленных задач направлено внедрение сквозной информационно-управляющей функции.

Доработка программного обеспечения систем автоматического управления (САУ) ГРС заключается во внедрении специальных алгоритмов, отслеживающих в режиме реального времени начало, поэтапное выполнение и завершение процесса и формирующих итоговые статусы проверки при опробовании ГРС [1,3]. Имея близкое отношение к технологическому процессу в многоуровневой структуре АСУТП, СДУ, ИУС, САУ ГРС служит средством формирования и экспорта данных по опробованию без ущерба для базовых функций и характеристик систем. В САУ ГРС реализованы специальные алгоритмы и переменные проверки средств противопожарной защиты, контроля концентрации газов в атмосферном воздухе, источников бесперебойного электропитания, перехода на работу по байпасной линии, поддержания давления газа на выходе ГРС при работе регулятора байпасной линии, аварийного отключения станции от МГ и прочее. В режиме реального времени по этим проверкам в САУ ГРС автоматически создаются и передаются на верхний уровень итоговые статусы с временными метками. После их подтверждения формируется общий результат «Алгоритмы ГРС проверены успешно». Для сменного персонала ДС ЛПУ МГ и ПДС администрации предприятия САУ ГРС и АСУТП продуцируют технологическую и предупредительную сигнализацию.

Фрагменты пользовательских интерфейсов САУ ГРС, пульта управления телемеханикой, АСУТП представлены на рисунке 1.

ПДС	Перечень алгоритмов				
	Автоматический переход на байпасную линию	По низкому давлению	08.10.2020 11:41:23	0:12:58	ВЫПОЛНЯЕТСЯ
		По высокому давлению	08.10.2020 11:58:03	0:14:40	УСПЕШНО
		По пожару	08.10.2020 12:33:29	0:11:10	УСПЕШНО
		По кнопке	08.10.2020 12:15:22	0:08:53	УСПЕШНО

ЛПУ	Комплексное опробование алгоритмов и сигнализации				
	Перечень алгоритмов		Дата, время запуска	Длительность	Результат
	Автоматический переход на байпасную линию	По низкому давлению	12.11.20	19:31	00:00:26
		По высокому давлению	26.03.20	11:55	00:15:15
		По пожару (блок редуцирования)	26.03.20	12:17	00:11:44
		По кнопке	26.03.20	11:22	00:08:54

ГРС	Комплексное опробование алгоритмов и сигнализации				
	Перечень алгоритмов		Дата, время запуска	Длительность	Результат
	Автоматический переход на байпасную линию	По низкому давлению	12.11.20	19:31	00:00:26
		По высокому давлению	26.03.20	11:55	00:15:15
		По пожару (блок редуцирования)	26.03.20	12:17	00:11:44
		По кнопке	26.03.20	11:22	00:08:54

Рис. 1. Фрагменты пользовательских интерфейсов систем автоматического управления, систем линейной телемеханики и автоматизированных систем управления технологическими процессами ГРС

На верхнем уровне АСУТП данные визуализируются на автоматизированном рабочем месте сменного персонала, транслируются в СДУ и регистрируются в базах данных [2]. По запросу пользователей отчеты могут быть предоставлены в электронном и бумажном виде.

Форма отчета по комплексному опробованию алгоритмов управления ГРС представлена на рисунке 2.

Кроме того, если одна или несколько проверок имели итоговый статус «Результат отрицательный», то из СДУ в ИУС предприятия автоматически отправляются сообщения о неисправности оборудования. Используя эти данные и справочники системы, ИУС автоматически формирует шаблон акта о неисправности оборудования, который становится доступным для обработки специалистами ЛПУ МГ и администрации. Профильные работники заполняют поля технической и производственной информации, согласуют или отклоняют электронный документ. По результатам согласования акта автоматически формируется шаблон заказа на техническое обслуживание или ремонт оборудования ГРС. Статистические отчеты, использующие большие массивы данных комплексных опробований ГРС, позволяют планировать превентивные технические мероприятия по повышению надежности оборудования.

Проверки алгоритмов ГРС по ЛПУМГ за 4 квартал 2020 года

09.11.2020г.

Аркауловское ЛПУМГ	Кармаскалы	Баймак	Салихово
ББСН КС Аркаулово	Кузбашево	Белорецк	Сапашево
Большеустикинское	Ново-Александровка	Верхний Авзян	Семеново
Куршатино	Прибельский	Давлетово	Стерлитамак-3
Малояз	Таптыково	Зилаир	ТКН
Меслягутово	Толбазы	Инзер	Тюрюшля
Янгая-Тау	Турбасты	Кага	Федоровка
Дюртюлинское ЛПУМГ	Турушля	Красная Башкирия	Юмагузино
ББСН КС Москово	Шакша	Междозерное	Якшиметово
Бирск	Шемейский	Миндьяк	Ургалинское ЛПУМГ
Бураево	Юматово	Серменево	ББСН КС Ургала
Верхнеяркеево	Полянское ЛПУМГ	Сибай	Верхние Кипи
Дюртюли	Аскино	Старосубхангулово	Новобелокатай
Калтасы	ББСН КС Поляна	Тазларово	Шаранское ЛПУМГ
Карача-Елга	Карандель	Татлы	Бакалы
Карманово	Красная Горка	Узян	Зиркилы
Краснохолмск	Красный Ключ	Укшук	Мустафино
Кушнаренково	Наратово	Учалы	Новоюмашево
Мишкино	Татарский Урюш	Целинный	Тюменск
Нефтекамск	Приютское ЛПУМГ	Юлдыбаево	Чекмагуш
Нижнесиловское	Арсланово	Стерлитамакское ЛПУМГ	Шаран
Новонагаево	Белебей	Байрак	
Редькино	Бижбуляк	Бала-Четырман	
Русский Агасяк	Бик-Карматы	Бутульчан	
Сейтязово	Богаты	Буруновка	
Ситантьево	Давлеканово	Верхние Услы	
Старобазаново	Елань-Чиншмы	Зиган	
Татышлы	Кандры	Зирган	
Телепаново	Киргиз-Мияки	ИЗНПО	
Челкаково	Константиновка	Ишимбай	
	Ново-Михайловка	Кинзебулатово	

Рис. 2. Отчет по комплексному опробованию алгоритмов управления ГРС

Внедрение сквозных цифровых технологий и функций, аналогичных описанным в статье, в сочетании со стандартизацией производственной деятельности, позволит газотранспортным предприятиям повысить эффективность, надежность и безопасность процессов и соответствовать современным стандартам качества в производственной и технологической сфере.

Список литературы

1. Лукин М.А., Шалыто А.А. Верификация автоматных программ с использованием верификатора SPIN // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2008. – № 8 (53). – С. 145-162.
2. Вельдер С.Э., Лукин М.А., Шалыто А.А., Яминов Б.Р. Верификация автоматных программ. – СПб: Наука, 2011. – 244 с.
3. Непейвода Н.И. Стили и Методы программирования. – М.: Интернет-университет информационных технологий, 2005. – 316 с.

Сведения об авторах:

Ракипов Рамиль Фаридович – студент;

Иксанов Ильнур Харисламович – доцент ИТ-института кафедры «Цифровые технологии в газовой промышленности».

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАКТОРНОЙ СИСТЕМЫ СИНТЕЗА ЭТАНОЛАМИНОВ

Бодров А.А.

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново

Ключевые слова: реакторная система, последовательно-параллельная реакция, этаноламины, гибкость, оптимизация, структурный параметр.

Аннотация. В работе решается задача оптимизации процесса синтеза этаноламинов с целью энерго- и ресурсосбережения. Описывается кинетика реакции. Приводится обоснование структуры химико-технологической системы. Формулируется критерий оптимальности с заданными ограничениями. С помощью алгоритма, реализованного в Mathcad были исследованы зависимости состава реакционной смеси на выходе ХТС от структурных параметров и соотношения исходных реагентов.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF THE REACTOR SYSTEM FOR THE SYNTHESIS OF ETHANOLAMINE'S

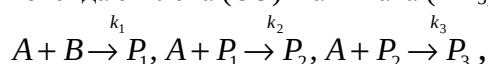
Bodrov A.A.

Ivanovo state university of chemistry and technology, Ivanovo

Keywords: reactor system, series-parallel reaction, ethanolamines, flexibility, optimization, structural parameter.

Abstract. The paper solves the problem of optimizing the synthesis of ethanolamines in order to save energy and resources. The kinetics of the reaction is described. The substantiation of the structure of the chemical-technological system is given. An optimality criterion with specified constraints is formulated. Using an algorithm implemented in Mathcad, the dependences of the composition of the reaction mixture at the output of the CTS on the structural parameters and the ratio of the initial reagents were investigated.

Этаноламины (ЭА) широко используются в различных отраслях промышленности в качестве абсорбентов «кислых» газов, а также как исходные реагенты в технологиях органического синтеза [1]. Одним из распространённых способов получения ЭА является реализация безводного жидкофазного взаимодействия оксида этилена (ОЭ) и аммиака (NH_3) в каскаде реакторов смешения и вытеснения [2]:



где A и B – исходные реагенты: ОЭ и NH_3 , P_1 , P_2 , P_3 – продукты реакции: моно- (МЭА), ди- (ДЭА) и триэтаноламин (ТЭА), соответственно. Реакция проводится в большом избытке аммиака при температуре $50 \div 80^\circ\text{C}$ и давлении $1,5 \div 3,5$ МПа. Кинетика реакции описывается уравнениями [2, 3]:

$$\begin{aligned} W_1 &= k_1 C_A, \\ W_2 &= k_2 C_A C_{P_1}, \\ W_3 &= k_3 C_A C_{P_2}, \end{aligned} \quad (1)$$

где C_A , C_{P_1} , C_{P_2} – концентрации ОЭ, МЭА, ДЭА, соответственно. k_i , $i = \overline{1,3}$.

Процесс в настоящее время проводят в каскаде последовательно соединённых реакторов смешения (РИС) и вытеснения (РИВ) с подачей исходных реагентов в РИС. В реакторы подаётся так же рециркуляционный поток МЭА со стадии разделения. Производство функционирует в условиях изменяющегося спроса на те или иные продукты реакции и требования полного превращения оксида этилена, ввиду этого возникает необходимость изменять соотношение продуктов реакции в общем выпуске. Гибкость технологической схемы (ТС), позволяющая управлять процентным соотношением продуктов, обеспечивается варьированием величины рециркуляционного потока МЭА, соотношением расходов исходных веществ. Для повышения гибкости ТС предлагается организовать параллельно-последовательное соединение реакторов по отношению к потоку ОЭ, то есть параллельно-последовательную подачу оксида этилена в аппараты, с точки зрения теории химических реакторов это позволит в более широком диапазоне изменять соотношение продуктов реакции при общем выпуске [4].

Таким образом, предлагаемая гипотетическая структура ТС представлена ниже:

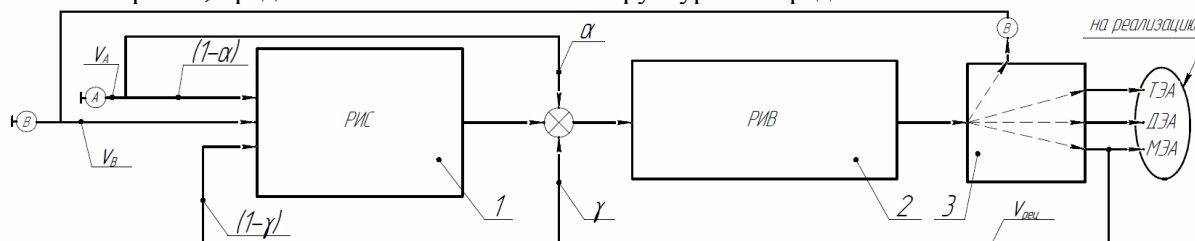


Рис. 1. Структура гибкой ТС производства ЭА: 1 – реактор идеального смешения; 2 – реактор идеального вытеснения; 3 – стадия разделения

На рисунке 1 обозначено: V_A , V_B , $V_{\text{рец}}$ – расходы ОЭ, аммиака, рециркуляционного потока МЭА, соответственно; α – структурный параметр, определяющий долю байпасного потока ОЭ; γ – структурный параметр, определяющий долю рециркуляционного потока МЭА, направляемую в РИВ.

Задача оптимизации формулируется следующим образом: при заданной нагрузке по ключевому исходному реагенту А – V_A , объёме реакторов и заданной температуре необходимо определить расход реагента В, величину рециркуляционного потока МЭА – $V_{\text{рец}}$, структурные параметры α и γ , обеспечивающие состав продуктов реакции на реализацию наиболее близкий к требуемому, который определяется рыночным спросом. В качестве ограничения выступает степень превращения ОЭ – $X_A = 100\%$. Управляющими – оптимизирующими технологическими переменными являются: соотношение расходов исходных реагентов $\beta = V_B : V_A$, которое варьируется путем изменения расхода аммиака (v_B) и приводит к изменению времени пребывания реакционной смеси в реакторах; величина рециркуляционного потока МЭА ($V_{\text{рец}}$) и структурные параметры α и γ .

Критерий оптимальности можно представить в виде:

$$R = \left(\frac{\hat{m}_1 - m_1}{\hat{m}_1} \right)^2 + \left(\frac{\hat{m}_2 - m_2}{\hat{m}_2} \right)^2 + \left(\frac{\hat{m}_3 - m_3}{\hat{m}_3} \right)^2, \quad (2)$$

где $\hat{m}_i$, m_i – заданное и расчётное содержание i -ого продукта в реакционной смеси на выходе системы после отбора рециркуляционного потока МЭА.

Управляющие переменные должны обеспечить минимум критерия оптимальности (2) при соблюдении сформулированных ограничений:

$$\{\beta^*, v_{\text{рец}}, \alpha, \gamma\} = \arg \min_{\beta, v_{\text{рец}}, \alpha, \gamma} R(\hat{m}_i, m_i, (\beta, v_{\text{рец}}, \alpha, \gamma)), \quad (3)$$

при $X_A = 100\%$.

Очевидно, что обеспечить точное равенство $m_i = \hat{m}_i$ для всех продуктов реакции невозможно, так как на процесс накладываются ограничения в виде кинетических закономерностей реакции, гидродинамической структуры потоков в аппаратах. В месте с тем решение задачи (3) будет означать определение энерго- и ресурсосберегающего режима, при котором в максимальной степени удовлетворяется спрос на продукты реакции.

Критерий оптимальности зависит от варьируемых переменных в неявной форме. Поэтому на каждом шаге расчёта экстремума R необходим расчет химико-технологической системы (ХТС), который занимает большую часть вычислительных действий. Кроме того, существует интервальная неопределённость в задании величины $\hat{m}_i$. Поэтому целесообразно провести предварительный анализ влияния варьируемых параметров на процентное соотношение продуктов. По результатам данного анализа можно сформулировать не оптимальные, а рациональные значения структурных параметров для различных ситуаций со спросом на продукты реакции.

Для решения этой задачи разработан алгоритм расчёта ХТС с рециклом МЭА, включающий математические модели аппаратов, который программно реализован в среде Mathcad. Процедура анализа эффективности ХТС предполагает декомпозицию общей задачи оптимизации (3) на этапы исследования влияния каждой оптимизирующей переменной на состав продуктов на выходе ХТС.

Результаты исследования влияния соотношения расходов исходных реагентов на соотношение продуктов в реакционной смеси на выходе реакторного узла при заданном V_A представлены ниже.

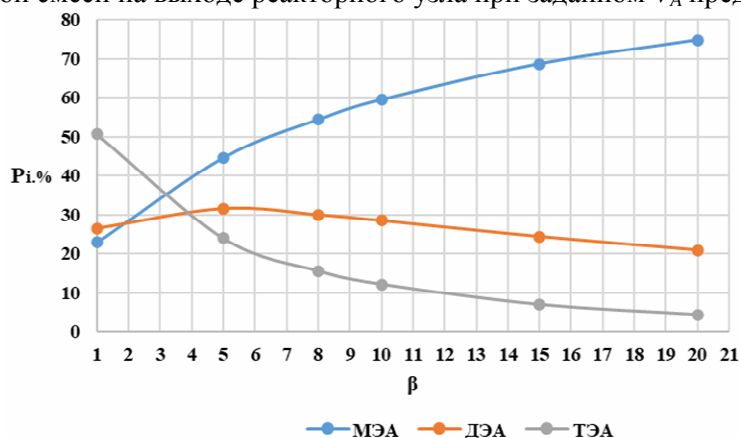


Рис. 2. Зависимость состава реакционной смеси на выходе реакторного узла от β , $V_A = 21,1$ л/мин, $V_{\text{рец}} = 0$, $\alpha = 0$

Из графика видно, что при увеличении β растёт доля более «лёгкого» продукта – МЭА, а доля самого «тяжёлого» продукта – ТЭА уменьшается. Это объясняется тем, что МЭА не успевает прореагировать по второй и третьей стадии реакции.

Так же проводились исследования влияния байпаса потока оксида этилена (α). Получили такое соотношение продуктов реакции на выходе ХТС: МЭА = 62,8%: ДЭА = 29,5%: ТЭА = 7,8%. Видим, что Данное соотношение близко к случаю, когда $\alpha = 0$ и $\beta = 10$. Это обстоятельство говорит о том, что меня всего лишь величину байпасного потока ОЭ, можно добиться практически того же соотношения продуктов, что и при увеличении расхода аммиака, а значит варьирование α – это менее энергозатратный способ получения необходимого соотношения продуктов реакции, так как не требует энергозатрат, например, как в случае с варьированием β , где требуется уменьшать или увеличивать расход v_B .

Результатами исследования влияния расхода рециркуляционного потока МЭА стало, то, что при подаче его в РИС ($\gamma = 0$) доля МЭА незначительно растёт, доля ТЭА незначительно падает, а вот при подаче всего $v_{\text{рец}}$ в РИВ ($\gamma = 1$) получаем более значительный рост доли МЭА, а так же более значительные уменьшенные доли ТЭА, по сравнению с предыдущим случаем. Такие результаты исследования, получились благодаря времени пребывания компонентов: в РИВ оно меньше, чем в РИС, поэтому МЭА не успевает прореагировать с ОЭ и ДЭА. Результаты исследования представлены на рисунках 3 и 4.

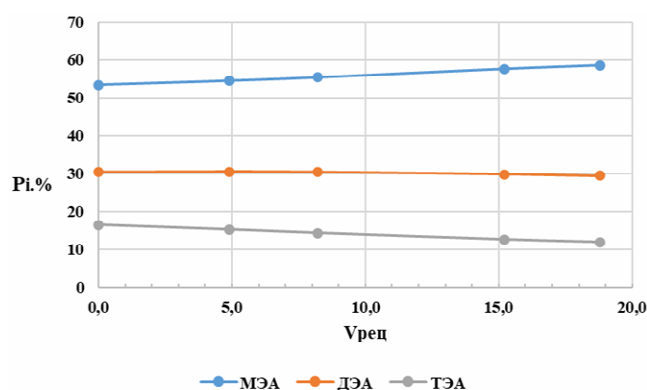


Рис. 3. Зависимость состава реакционной смеси на выходе реакторного узла от величины расхода рециркуляционного потока МЭА; $V_A = 21,1$ л/мин, $\beta = 8$, $\alpha = 0$, $\gamma = 0$

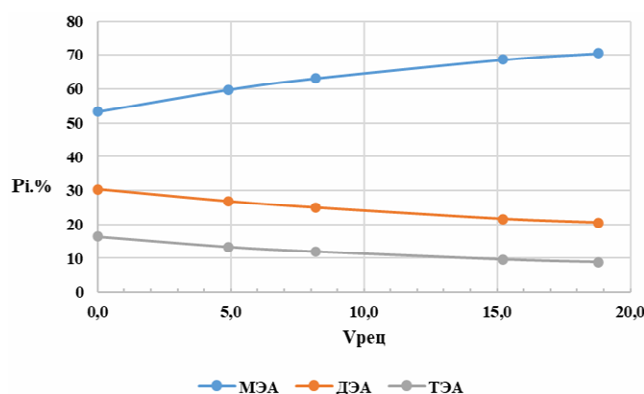


Рис. 4. Зависимость состава реакционной смеси на выходе реакторного узла от величины расхода рециркуляционного потока МЭА, $V_A = 21,1$ л/мин, $\beta = 8$, $\alpha = 0$, $\gamma = 1$

Из работ [4,5] известно, что оптимальным вариантом работы реакторной системы является такая работа производства, которая обеспечивает состав продуктов, приведенный в таблице 2.

Табл. 2. Таблица с вариантами соотношений продуктов реакции в общем выпуске этаноламинов

Наименование продуктов	Соотношение продуктов в общем выпуске, %	
	I вариант	II вариант
МЭА	75	62
ДЭА	20	27
ТЭА	5	11

Данные варианты работы реакторного узла реализуемы при следующих значениях структурных параметров.

I вариант:

$\beta = 8$; $V_{\text{рец}} = 18,8$ л/мин; $\alpha = 0,5$; $\gamma = 0$.

Соотношение продуктов реакции в общем выпуске при данных структурных параметрах: МЭА = 75,2%, ДЭА = 20,3%; ТЭА = 4,5%.

II вариант:

$\beta = 8$; $V_{\text{рец}} = 4,9$ л/мин; $\alpha = 0,3$; $\gamma = 0,5$.

Соотношение продуктов реакции в общем выпуске при данных структурных параметрах: МЭА = 62%, ДЭА = 27,2%; ТЭА = 10,7%.

Анализ полученных результатов при исследовании влияния структурных параметров и соотношения расходов исходных реагентов на соотношение продуктов реакции показал, что, варьируя различными структурными параметрами, можно добиться на выходе ХТС состава смеси продуктов реакции близкого к требуемому на производстве.

Список литературы

1. Лебедев Н.Н., Манаков М.Н., Швец В.Ф. Теория технологических процессов основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Химия, 1975. – 477 с.
2. Луговской С.А. Разработка энергосберегающей технологии синтеза этаноламинов: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: ЗАО «Химтэк Инжиниринг», 2004. – 20 с.
3. Пенкин К.В. Математические модели стадии синтеза производства этаноламинов и разработка оптимальных систем коррекции его фракций на основе хроматографической диагностики: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Дзержинск: ФГУП НИИ химии и технологии полимеров имени, 2014. – 22 с.
4. Гордеев Л.С., Лабутин А.Н., Гордеева Е.Л. Синтез оптимальных ресурсосберегающих реакторных систем. // Теоретические основы химической технологии. – 2014. – Т. 48, № 5. – С. 637-643.
5. Саутин С.Н., Пунин А.Е., Хартман К. и др. Методы синтеза реакторных подсистем ХТС. – Ленинград: ЛТИ, 1986. – 85 с.

Сведения об авторах:

Бодров Александр Андреевич – аспирант.

АНАЛИЗ СТАТИСТИКИ СОСТОЯНИЯ КОММУТАТОРОВ НА СЕТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ**Меделянова А.В.***Омский государственный университет путей сообщения;
Омский филиала ПАО «Ростелеком», Омск***Ключевые слова:** связь, сеть передачи данных, коммутатор, статистика, временные ряды, прогнозирование.**Аннотация.** В материалах статьи рассмотрены вопросы организации связи между коммутаторами на сети передачи данных с целью минимизации отказов на оборудовании. Проведена обработка реальной статистики состояния коммутаторов агрегации и доступа на сети, выполнен анализ статистических данных событий на элементах сети передачи данных. Рассмотрены вопросы прогнозирования состояния коммутаторов на сети передачи данных в программе Excel.**ANALYSIS OF STATE STATISTICS OF SWITCHES ON A DATA NETWORK****Medelyanova A.V.***Omsk State Transport University;
Omsk branch of Rostelecom, Omsk***Keywords:** communication, data network, switch, statistics, time series, forecasting.**Abstract.** The article discusses the issues of organizing communication between switches on a data network in order to minimize equipment failures. Real statistics of the state of aggregation and access switches on the network were processed, and statistical data of events on elements of the data transmission network was analyzed. The issues of predicting the state of switches on a data transmission network in Excel are considered.

В последние десятилетия по мере развития технологий значительно выросла зависимость пользователей от телекоммуникационных сетей передачи данных, что подтверждается значительным ростом количества устройств [1]. В связи с этим, одной из важнейших задач современных телекоммуникационных сетей является предоставление качественного транспортного сервиса с минимизацией отказов оборудования сети передачи данных.

С целью сокращения аварийных событий и количества отказов оборудования, а также повышения надежности сети актуальными являются исследования в области мониторинга и управления телекоммуникационных сетей.

Новым подходом к построению системы управления услугами может быть автономное эксплуатационное управление, представляющее собой сеть, принимающую решения на основании обнаружения сбоев и прогнозирования поведения и изменений, которые могут улучшить систему [2].

Таким образом, предметом моделирования и прогнозирования в таких телекоммуникационных сетях является система, воспроизводящая объект исследования так, что на ее основе могут быть изучены структура и размещение явлений, их изменения во времени, связи и зависимости [3].

Для решения подобных задач, связанных с анализом данных при наличии случайных воздействий, предназначен аппарат прикладной статистики, составной частью которого являются статистические методы прогнозирования. Эти методы позволяют выявлять закономерности на фоне случайностей, делать обоснованные прогнозы и оценивать вероятность их выполнения [4].

Постановка задачи. Для оценки состояния оборудования СПД требуется выполнить прогнозирование перезагрузок оборудования сети передачи данных на краткосрочный период (4 месяца вперед), используя в качестве исходных данных статистику перезагрузок оборудования по месяцам за 2023 год.

При выполнении исследования рассмотрены следующие кривые роста для модели прогнозирования: экспоненциальная и полиномиальная. Нужно отметить, что полиномиальную кривую роста можно использовать для аппроксимации (приближения) и прогнозирования процессов, в которых последующее развитие не зависит от достигнутого уровня.

В отличие от применения полиномиальной кривой использование экспоненциальной кривой роста предполагает, что дальнейшее развитие зависит от достигнутого уровня, к примеру прирост зависит от значения функции

Сбор исходных данных для прогнозирования состояния оборудования СПД. Для выполнения исследований использовались исходные данные перезагрузок оборудования за каждый месяц годового периода 2023 года.

Данные были выгружены из программы мониторинга Sova. Для выполнения расчетов, построения графиков использовалось программное средство программа Microsoft Excel.

Исходные данные представлены массивом, состоящим из 234 строки (временные срезы перезагрузок) и 4 столбцов (характеристики событий перезагрузок на оборудовании сети передачи

данных – дата и время перезагрузок, территория размещения оборудования, тип оборудования и марка). Фрагмент исходных данных, содержащий следующие показатели: территория, тип оборудования, устройство сети передачи данных, представлен в таблице 1.

Табл. 1. Фрагмент данных статистики перезагрузок на сети СПД

№ п/п	Дата и время перезагрузки	Территория	Оборудование	Устройство
1	29.01.2023 12:09:00	СЦ г. Омск	Коммутатор доступа	ASW1-D1228
2	14.01.2023 18:29:59	СЦ г. Омск	Коммутатор доступа	ASW1-D1228
3	07.01.2023 16:09:23	СЦ рп. Таврическое	Коммутатор доступа	УЦН WiFi БС
4	02.01.2023 18:20:48	СЦ г. Омск	Коммутатор доступа	ASW1-D3526
5	25.01.2023 13:30:56	СЦ рп. Марьяновка	Коммутатор доступа	ASW1-E2408
6	05.01.2023 10:11:58	СЦ г. Омск	Коммутатор доступа	VoIP TMG
7	19.01.2023 10:53:15	СЦ г. Омск	Коммутатор доступа	ASW1-A24110
8	26.01.2023 15:23:36	СЦ г. Калачинск	Коммутатор доступа	SSW1-E3324F
9	24.01.2023 11:29:32	СЦ г. Тара	Коммутатор агрегации	УЦН ASW1-UCN
...	...	...	...	...
234	28.12.2023 12:00:05	СЦ г. Омск	Коммутатор агрегации	OLT PON2-LTP8

По данным таблицы 1 построен график зависимостей количества перезагрузок по месяцам 2023 года, представленный ниже на рисунке 1.

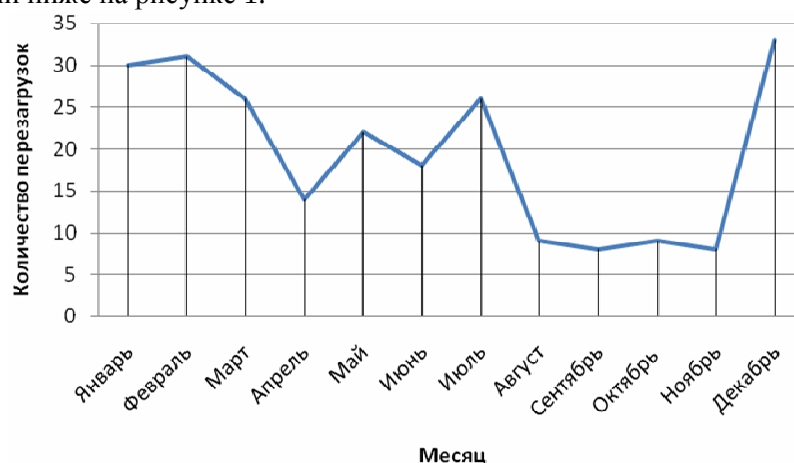


Рис. 1. График зависимости количества перезагрузок по месяцам 2023 года

Исходные данные, приведенные в таблице 1, являются числовыми значениями статистического показателя, расположенными в хронологическом порядке – временными рядами.

Сделаем анализ временных рядов в Excel согласно [6]. Внесем данные из таблицы 1 в таблицу Excel. На вкладке «Данные» нажимаем кнопку «Анализ данных», из предлагаемого списка инструментов для статистического анализа выбираем «Экспоненциальное сглаживание». Используем данный метод для нашего временного ряда с колеблющимися значениями.

Внесем данные в диалоговое окно: входной интервал – диапазон со значениями количества перезагрузок, фактор затухания – коэффициент экспоненциального сглаживания (примем значение 0,3), выходной интервал является ссылкой на верхнюю левую ячейку выходного диапазона (сглаженные уровни).

Расчетные данные, полученные с помощью Microsoft Excel, приведены в таблице 2.

После внесения данных выводим график прогнозных значений количества перезагрузок, представленный на рисунке 2.

Для более точного прогнозирования настроим в программе Microsoft Excel параметр линии тренда – для этого выбираем команду «Добавить линию тренда» на графике. В диалоговом окне выбираем полиномиальную линию тренда степени 6. На рисунке 2 отображена полиномиальная линия совместно с линией прогнозных значений.

Далее построим график по значениям перезагрузок оборудования СПД за текущий 2024 год (период с января по апрель). Как мы видим кривые практически совпадают, что говорит о том, что данная методика прогнозирования – полиномиальная 6-й степени, является эффективной.

Табл. 2. Расчетные данные прогнозирования количества перезагрузок коммутаторов на сети передачи данных

Месяц	Количество перезагрузок	Сглаженные уровни	Стандартные погрешности
Январь	30	#Н/Д	#Н/Д
Февраль	31	30	#Н/Д
Март	26	30,7	#Н/Д
Апрель	14	27,41	#Н/Д
Май	22	18,023	8,224315574
Июнь	18	20,8069	8,519284575
Июль	26	18,84207	8,236571225
Август	9	23,852621	4,997705423
Сентябрь	8	13,4557863	9,655999863
Октябрь	9	9,63673589	10,02666306
Ноябрь	8	9,191020767	9,142781986
Декабрь	33	8,35730623	3,244973919

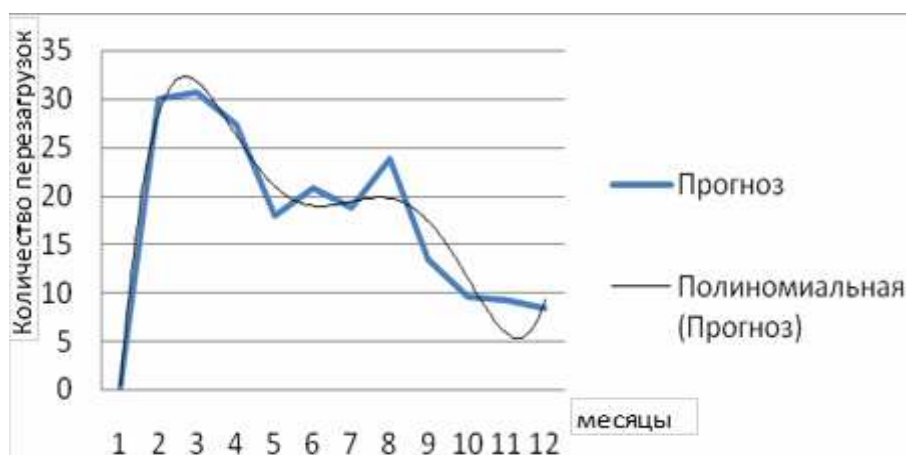


Рис. 2. График прогнозных значений количества перезагрузок на 2024 год

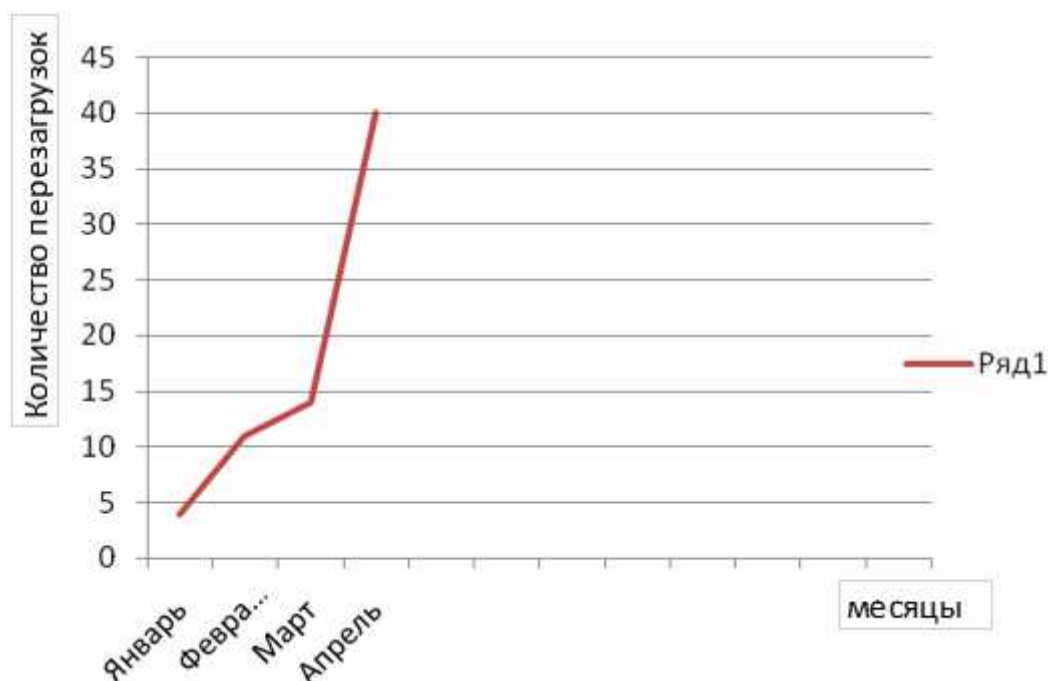


Рис. 3. График значений количества перезагрузок по месяцам 2024 года

Обсуждение результатов. В проведенном исследовании были рассмотрены вопросы обработки статистики событий на телекоммуникационной сети за 2023 год – построены графики зависимостей количества перезагрузок, что позволило наглядно увидеть динамику перезагрузок в зависимости от месяца. Данное прогнозирование с использованием полиномиальной кривой 6-й степени признано эффективным.

Заключение. Таким образом, получив временные зависимости, в данной работе была проведена обработка реальных временных рядов с помощью программы Excel, построены графики, выбрана кривая роста – полиномиальная 6-й степени.

Из этого следует, что обработка временных рядов статистики за 2023 год позволит спрогнозировать состояние элементов сети в 2024 году, что дает возможность проведения превентивных мер по предотвращению повреждений и позволяет значительно улучшить параметры эксплуатации сети и качество предоставляемых услуг абонентам.

Помимо этого, прогнозирование состояния элементов сети позволит спланировать бюджет по ремонту и обслуживанию сети, тем самым улучшив планово-экономические показатели компании, эксплуатирующей данное оборудование.

Список литературы

1. Росляков А.В. Сеть 2030: архитектура, технологии, услуги. – М.: ООО «ИКЦ «Колос-с», 2022. – 278 с.
2. Меделянова А.В. Обработка статистики отказов оборудования на телекоммуникационной сети с целью прогнозирования состояния элементов сети // Наука и инновации – современные концепции: Труды Международного научного форума. – Москва, 2024. – Т. 2. – С. 124-132.
3. Меделянова А.В., Бычков Е.Д. Исследование реальной статистики повреждений на гетерогенной телекоммуникационной сети // Актуальные проблемы развития транспортно-промышленного комплекса: инфраструктурный, управленческий и образовательный аспекты: Материалы XX Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Донецк: МТ ДНР, 2023. – Т. 1. – С. 31-35.
4. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования. Учебное пособие. – М.: МГУЭСИ, 2004. – 250 с.
5. Афанасьев В.Н. Анализ временных рядов и прогнозирование: Учебник. – Оренбург: Оренбургский университет, 2020. – 286 с.
6. Литвинчук С.Ю. Информационные технологии в экономике. Анализ и прогнозирование временных рядов с помощью Excel: учебное пособие. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2010. – 78 с.

Сведения об авторах:

Меделянова Александра Витальевна – аспирант, ведущий инженер.

**Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»
(НИЦ МС)**

<http://srcms.ru/>

E-mail: info@srcms.ru

