



НАУЧНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ МОЛОДЕЖИ И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС

Материалы V Всероссийской научно-практической конференции

Санкт-Петербург, 20 мая 2022г.

УДК 082 : 001.8
ББК 94.3
Н34

ISSN 2618-7493

Научный потенциал молодежи и технический прогресс: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2022. – 52 с. – DOI: 10.26160/2618-7493-2022-5.

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, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет, 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. 6,05.
Подписан в печать 20.05.22г. Заказ №22-11.
<https://doi.org/10.26160/2618-7493-2022-5>

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

Широкова А.Н., Синенко С.А. Результаты опроса строительных компаний по вопросу стратегии цифровизации в строительстве 5

Ермолаева А.А., Синенко С.А. Разработка модели проведения работ по капитальному ремонту с определением рациональных вариантов организации производства 7

Компьютерные и информационные науки, информатика и вычислительная техника

Кузнецова И.Р., Букунов А.С. Применение современных веб-технологий для управления бизнес-процессами 9

Машиностроение

Макарова Т.Г. Методика подбора струйного насоса скважинной установки 12

Ефремов М.А., Фролов Н.Д., Миронов В.А., Егоров И.В. Разработка конвертера управляющих G-кодов в команды промышленного робота 14

Хадеев Р.Г. Механизм прямого пуска 17

Киришиева В.И., Мукутадзе А.М., Мукутадзе М.А. Математическая модель течения смазочного материала и расплава покрытия в рабочем зазоре радиального подшипника.....19

Сенкевич А.С., Ольштынский С.Н. Экспериментальное исследование площади контактной зоны при поверхностном пластическом деформировании 24

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

Бахтигареев Г.Г., Поздняков А.П. Алгоритм определения остаточных запасов нефти в продуктивных пластах с использованием методов InSag и трассерного метода.....27

Юнгмейстер Д.А., Смоленский М.П. Оценка современных методов глубоководной добычи полезных ископаемых 30

Приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

Романько В.В., Епифанов Ю.Г., Семакина А.А. Комплекс способов повышения коэффициента извлечения нефти 33

Сельское, лесное и рыбное хозяйство

Акматова С.Ж. Разработка конструктивно-технологической схемы сеялки для посева бахчевых культур.....36

Технологии материалов, нанотехнологии и материалы

Ворошилов Д.С., Сидельников С.Б., Горохов Ю.В., Ворошилова М.В. Разработка режимов совмещенной обработки для получения полуфабрикатов из сплавов системы Al-PЗМ и исследование их свойств.....39

Федин Е.А. Анализ структуры покрытия на основе Р6М5 после испытаний на износостойкость 42

Физико-технические науки и технологии

Орехов В.А., Бобков В.И. Исследование электропроводности фосфоросодержащего рудного сырья при термической обработке.....45

Электроника, радиотехника и системы связи

Заховаев М.И. Разработка физического уровня промышленной сети для управления устройствами по схеме ведущий-ведомый.....47

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОСА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ ПО ВОПРОСУ СТРАТЕГИИ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Широкова А.Н., Синенко С.А.

Московский государственный строительный университет, Москва

Ключевые слова: строительство, строительная отрасль, строительное производство, цифровизация, цифровые технологии, экспертный опрос.

Аннотация. В век цифровых технологий строительное производство на пороге глобальных перемен. Развитие цифровизации компаний заключается в ускорении процессов проникновения цифровых технологий на все этапы взаимодействия ее участников. Обязательной частью цифровизации компаний являются электронная среда для обмена информацией, то есть интернет. Опрос, анализируемый в данной статье, был проведен одним из ведущих российских консультантов Strategy Partners. В России уровень цифровизации строительных компаний исследовался впервые. Опрос показал настоящую картинку текущего уровня развития цифровизации строительных компаний, на сколько актуальны цифровые технологии, а также как далеко продвинулись российские компании в цифровизации.

RESULTS OF A SURVEY OF CONSTRUCTION COMPANIES ON THE ISSUE OF DIGITALIZATION STRATEGY IN CONSTRUCTION

Shirokova A.N., Sinenko S.A.

Moscow State Construction University, Moscow

Keywords: construction, construction industry, construction industry, digitalization, digital technologies, expert survey.

Abstract. In the age of digital technologies, the construction industry is on the verge of global change. The development of digitalization of companies is to accelerate the penetration of digital technologies at all stages of interaction between its participants. An obligatory part of the digitalization of companies is the electronic environment for the exchange of information, that is, the Internet. The survey analyzed in this article was conducted by one of the leading Russian consultants, Strategy Partners. In Russia, the level of digitalization of construction companies was studied for the first time. The survey showed a real picture of the current level of development of digitalization of construction companies, how relevant digital technologies are, and also how far Russian companies have advanced in digitalization.

В век цифровых технологий строительное производство на пороге глобальных перемен. Сегодня цифровые технологии и подходы к их разработке помогают создавать товары и услуги абсолютно иного уровня, позволяя компаниям повысить свою конкурентоспособность. Под понятием цифровизации понимают – перенос процессов и объектов в виртуальное пространство, таких как различные модели управления, документооборот, товары, услуги и т.п. К цифровым и стремящимся внедрить цифровизацию компаниям относят именно те компании, где процессы осуществляются при использовании виртуальной платформы, которая осуществляет взаимодействие компании с партнерами, поставщиками и клиентами. Развитие цифровизации заключается в ускорении процессов проникновения цифровых технологий на все этапы взаимодействия ее участников. Ее обязательной частью являются электронная среда для обмена информацией, т.е. интернет. Применяя такие современные цифровые решения, как: информационное моделирование зданий (BIM), робототехнику, технологии виртуальной реальности (VR), ведущие строительные компании уже вступили в «цифровое будущее».

Опрос, анализируемый в данной статье, был проведен одним из ведущих российских консультантов Strategy Partners [1]. В России уровень цифровизации строительных компаний исследовался впервые. Были рассмотрены вопросы приоритетов в области цифровизации и готовности к цифровой трансформации. Опрос показал настоящую картинку текущего уровня развития цифровизации компаний, на сколько актуальны цифровые технологии, а также как далеко продвинулись компании. Значительная часть из них (46%) считают, что цифровизация для компании – стратегический приоритет. Компании стали думать о цифровой трансформации и согласны с ее необходимостью. Но лишь 18% видят цель, которую надо достичь [2]. Строительные компании, согласно результатам опроса, внедряют пока только элементы цифровых решений. 31 % компаний применяют приложения и платформы, помогающие сделать заказ, оплатить услуги в режиме онлайн, тем самым проявляют интерес к желаниям клиентов. Все это повышает производительность труда, конкурентоспособность и снижает издержки производства [3].

Цифровизация процесса производства происходит частично: 25% опрошенных компаний используют электронный документооборот широко и облачные решения – 22%. У 12% применение BIM считается стандартом при проектировании. Компании также используют оптическое распознавание документов, виртуальную и дополненную реальность, системы искусственного интеллекта и робототехнику. Но, чтобы контролировать перемещение рабочих на стройплощадке, цифровые технологии используют лишь 8% компаний [4]. В ходе анализа итогов опроса видно, что уровень

готовности большинства компаний к цифровой трансформации очень низкий. Абсолютно уверены в получении значимого эффекта от внедрения только 4%. Большинство (96%) не видят этого. При этом более двух третей компаний не довели инициативы до конца.

Строительные компании не верят в результат, они не готовы быстро принимать решения, касающиеся инвестиций. Многих руководителей компаний пугает сложность и масштаб изменений, которые последуют после внедрения цифровизации. Другой причиной, замедляющей процесс, является психология: новые технологии всегда вызывают опасение. Компаниям необходимо предусмотреть решения, чтобы избежать проблем, которые возникнут после внедрения. Опрос помог компаниям определить три основных направления, которые связаны с внедрением цифровых технологий. Первая проблема - высокая стоимость внедрения: 36% компаний считают ее ключевым барьером цифровизации, а отчасти согласны с этим 56%. Второй проблемой, участники опроса назвали недостаточную цифровизацию партнеров, а третьей проблемой являются высокие риски, связанные с внедрением новых цифровых технологий.

Трудность внедрения цифровизации строительного процесса также заключается в нехватке профильных специалистов, которые смогут проводить анализ и обработку данных, обучение, а также заниматься защитой данных и электронной подписи. Компании нуждаются в IT-специалистах, которые будут создавать платформы и приложения. Им не хватает сотрудников, обладающими знаниями о новых технологиях, которые будут разбираться как в бизнес-процессах, так и в технологиях.

У компаний очень хорошее начало внедрения цифровых технологий. Это показали результаты проведенного опроса. И для того, чтобы повысить готовность строительных компаний к полному переходу на цифровые технологии еще предстоит сделать много шагов. Цифровые технологии дают любой компании новые преимущества. Внедрение цифровых технологий происходит крайне медленно. По итогу экспертного опроса стало очевидно, что многие отечественные компании стали задумываться о принятии решений внедрения цифровых технологий. Они поняли, что, если не начать заниматься поиском эффективных подходов к внедрению, у организаций не получится перейти на новый этап цифровой трансформации. Компании не смогут конкурировать с теми, кто уже это делает. Проведенное исследование поможет компаниям осознать текущее положение дел, возможности и направление в цифровой трансформации, которым стоит уделить повышенное внимание. Компании должны осознать, что за цифровизацией – будущее. Переход на новые технологии необратим и от того, как быстро это поймут, зависит успех компаний.

Список литературы

1. О Strategy Partners [Электронный ресурс] // URL: <http://strategy.ru>
2. Исследование Strategy Partners: цифровизация строительной отрасли [Электронный ресурс] // URL: <https://ict-online.ru/news/n168088/>.
3. Борисова Л.А. Проблемы цифровизации строительной отрасли // УЭПС: управление, экономика, политика, социология. – 2019. – №3. – С. 53-58.
4. Краткая презентация компании Strategy Partners: Результаты опроса об уровне цифровизации девелоперских и строительных компаний. [Электронный ресурс] // URL: <https://ru-bezh.ru/managerUploads/files/26343.pdf>

Сведения об авторах:

Широкова Алина Николаевна – студентка;

Синенко Сергей Анатольевич – д.т.н., профессор.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО КАПИТАЛЬНОМУ РЕМОНТУ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ РАЦИОНАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Ермолаева А.А., Синенко С.А.

Московский государственный строительный университет, Москва

Ключевые слова: строительство, строительная отрасль, строительное производство, имитационное моделирование.

Аннотация. Вопросы имитационного моделирования организации строительства с учетом показателя надежности наиболее полно исследованы в трудах доктора технических наук А.А. Гусакова, в работах Ю.А. Куликова, Ильина Н.И. В частности, в работах приводится методика формирования оптимальных календарных планов при заданном уровне надежности возведения объектов и их комплексов с использованием методов имитационного и ситуационного моделирования. Вместе с тем, вопросы повышения надежности поточной организации работ в масштабе долгосрочных программ строительства проработаны недостаточно глубоко и подробно.

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR CARRYING OUT MAJOR REPAIRS WITH THE DEFINITION OF RATIONAL OPTIONS FOR ORGANIZING PRODUCTION

Ermolaeva A.A., Sinenko S.A.

Moscow State Construction University, Moscow

Keywords: construction, construction industry, construction industry, simulation modeling.

Abstract. The issues of simulation modeling of the organization of construction, taking into account the reliability indicator, are most fully studied in the works of Doctor of Technical Sciences A.A. Gusakov, in the works of Yu.A. Kulikova, Ilyina N.I. In particular, the papers provide a methodology for the formation of optimal schedules for a given level of reliability of the construction of objects and their complexes using simulation and situational modeling methods. At the same time, the issues of increasing the reliability of the flow organization of work on the scale of long-term construction programs have not been worked out in sufficient depth and detail.

Введение. Применение эволюционно-симулятивного имитационного моделирования упростит анализ эффективности системы и позволит расширить область применения имитационного моделирования в строительной сфере, например, использовать аналитические методы в капитальном ремонте.

В отличие от существующих методов разработанная система формирования долговременных потоков с возможностью классификации обладает следующими особенностями [1].

1. Расчеты производятся в соответствии с оптимальным значением априорного уровня реальности потока.

2. Обеспечивается непрерывность функционирования составляющих потоков путем реализации планомерного перехода специализированных бригад с объекта на объект [2]. В этих целях допускается некоторый организационный простой подготовленного фронта работ.

В алгоритме применен эволюционно-симулятивный метод, что дает возможность по сравнению, например, с методом Монте-Карло [3] резко сократить число необходимых статистических испытаний модели и значительно снизить затраты машинного времени на производство расчетов.

Специфика предлагаемого алгоритма формирования долговременного потока позволяет рекомендовать его для строительных организаций с высоким уровнем разделения труда, со сложной системой кооперированных связей участников строительства и при объединении производственных функций этих участников в рамках комбинированного строительного предприятия [4].

Экономическое содержание задачи заключается в необходимости определить перспективное комплексное расписание работы всех специализированных потоков на объектах, включенных в производственную программу, при котором выходные показатели по конечной продукции в соответствующих единицах измерения /тыс. руб., кв.м общей площади жилых домов и др./ для каждого Т-го года, принадлежащего плановому периоду «Т1», имели бы минимальные отклонения от плановых заданий.

Математически задача формулируется следующим образом [5]:

Найти:

$$P_{s,i,j,T}^H \rightarrow \{H_{s,i,j,T}; Q_{s,i,j,T}\}, \forall S \in \{1, \dots, \bar{S}\}, i \in \{1, \dots, I\}, j \in \{1, \dots, J\},$$

при котором

$$\oint = \sum_{T=1}^{T1} |B_T - B_T^{пл}| \rightarrow \min$$

при соблюдении ограничений

$$F_3 = F_3^{HOP}; B_{T1} = \sum_{T=1}^{T1} B_T \geq B_{T1}^{ПЛ},$$

$H_{s,i,j,T}$ - срок начала выполнения j-го специализированного потока, входящего в состав i-го объектного потока, на S-м объекте, возводимого в T-м году;

$Q_{s,i,j,T}$ - срок окончания;

F_3^{HOP} - нормативы переходящих заделов;

$B_{T1}^{ПЛ}$ - плановое задание по вводу на весь плановый период;

$\bar{S}$ - общее число объектов, включенных в производственную программу;

I - число объектных потоков;

J - количество специализированных потоков;

$T1$ - продолжительность планового периода.

Для реализации модели применяются эволюционные алгоритмы, представляющие собой приложение эволюционист методов поиска экстремума к задачам стохастического программирования.

В целом алгоритм базируется на имитационной модели поточного ведения работ, на каждой симуляции которой "разыгрываются" продолжительности выполнения процессов на объектах и производится увязка каждой пары смежных составляющих потоков.

Для реализации модели входная информация должна, в основном включать:

– контрольные цифры на меньший срок, чем пять лет плана по вводу конечной продукции и нормативы переходящего задела;

– нормативы трудозатрат каждого специализированного потока на объекты всех типов /на базе применения ЕНиР;

– структуру объектных потоков и принятую последовательность строительства объектов;

– средние значения и дисперсии коэффициентов ${}_B K_j^e$, ${}_T K_{j,t}^e$, $L_{j,T}^e$.

Вывод. Эволюционно-симулятивный метод можно применить для анализа сетевых графиков, что упрощает выбор с более эффективной системой и позволяет применить имитационное моделирование в других областях строительной сфере.

Список литературы

1. Алоян Р.М., Сеферян Л.А., Маилян А.Л. Моделирование с учетом факторов, влияющих на устойчивое развитие жилищного фонда крупного города // Научное обозрение. – 2017. – №4. – С. 16-23.
2. Математическое моделирование в материаловедении электронных компонентов. МММЭК–2021. – М.: МАКС Пресс, 2021. – 161 с.
3. Lo G.S. A Course on Elementary Probability Theory. Gane Samb LO. SPAS Books Serials. Saint-Louis, Senegal – Calgary, Canada. 2017.
4. Рощина С.И. Техническая эксплуатация зданий и сооружений: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2018. – 232 с.
5. Lo G.S. Mathematical Foundations of Probability Theory. SPAS Books Serials. Saint-Louis, Calgary, Alberta. 2018. 378p.

Сведения об авторах:

Ермолаева Александра Александровна – студентка;

Синенко Сергей Анатольевич – д.т.н., профессор.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ

Кузнецова И.Р., Букунов А.С.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: веб-технологии, веб-приложение, база данных, объектно-ориентированное программирование, бизнес-процессы.

Аннотация. Описывается разработка программного решения для управления бизнес-процессами клуба активных путешествий INSLED, с помощью современных веб-технологий. Для реализации веб-приложения использовались языки Python, HTML, CSS, JavaScript, фреймворк Django и система управления базами данных MySQL.

APPLICATION OF MODERN WEB TECHNOLOGIES FOR BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

Kuznetsova I.R., Bukunov A.S.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg

Keywords: web technologies, web application, database, object-oriented programming, business processes.

Abstract. Description of the development of business process management software for the INSLED active travel club using modern web technologies. The web application was implemented using Python, HTML, CSS, JavaScript, the Django framework and the MySQL database management system.

В настоящее время деятельность каждой компании вне зависимости от её величины сопровождается накоплением и обработкой информации больших объемов. Для того чтобы оставаться конкурентоспособной организацией в условиях конкурентного рынка и нестабильности экономических условий, компании необходимо в оперативном порядке принимать наиболее эффективные управленческие решения, что невозможно без привлечения специальных технологий, методов и инструментальных средств. Программным решением данной задачи может являться веб-приложение. Создание такого приложения позволит компании не только повысить эффективность управления бизнес-процессами, но и привлечь новых клиентов. Важным преимуществом такого программного решения является возможность работы с ним с любого устройства, имеющего доступ к сети Интернет.

Данный программный продукт разработан для клуба активных путешествий INSLED, организующего различные мероприятия, связанные с активным отдыхом. Он позволяет автоматизировать управленческий учет и бюджетирование и имеет следующие функциональные возможности:

- регистрация пользователей в системе;
- редактирование данных пользователей;
- отправка сообщения администрации клуба с помощью формы обратной связи;
- просмотр электронного каталога всех мероприятий;
- регистрация участников на мероприятие;
- удаление пользователей из списка участников мероприятия;
- просмотр списка участников, зарегистрированных на мероприятие;
- создание нового мероприятия;
- редактирование информации о мероприятии;
- регистрация новых клубных карт;
- редактирование информации о клубных картах;
- создание категорий расходов;
- редактирование категорий расходов;
- регистрация контрагентов;
- редактирование данных о контрагентах;
- распределение расходов на мероприятие;
- взаиморасчеты с участниками;
- взаиморасчеты с контрагентами;
- просмотр совершенных финансовых операций;
- учет задолженностей клуба контрагентам;
- учет задолженностей участников клубу;
- расчет прибыли по мероприятию.

Доступ к перечисленным функциональным возможностям предоставляется исходя из принадлежности пользователя к одному из трех типов:

- 1) участник;
- 2) организатор;
- 3) администратор.

Разработанное веб-приложение состоит из клиентской и серверной частей. Серверная часть веб-приложения представляет собой скрипт на сервере, который обрабатывает запрос от браузера, после чего формирует страницу и передает ее браузеру по сети. Для разработки серверной части веб-приложения использовался язык программирования Python [1], фреймворк Django [2], реализующий паттерн проектирования MVC, и система управления базами данных MySQL [3].

Клиентская часть веб-приложения представляет собой пользовательский интерфейс, который формирует запросы к серверу и обрабатывает запросы от него. Для реализации клиентской части веб-приложения использовался язык разметки документов HTML [4], формальный язык описания внешнего документа CSS [4] и язык программирования JavaScript [5].

Рассмотрим примеры работы приложения для различных типов пользователей.

Пользователь, принадлежащий к типу участник, обладает личным кабинетом, в котором отображена информация о пользователе, клубной карте пользователя, а также о последних мероприятиях, в которых он зарегистрирован в качестве участника. При отсутствии у пользователя клубной карты, отображается местонахождение и номер спрятанной клубной карты.

Личный кабинет участника представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Личный кабинет

Участник имеет возможность редактировать данные о себе, а также менять пароль.

Помимо этого, пользователь может осуществлять отправку сообщения администрации клуба с помощью формы обратной связи, регистрироваться на мероприятие в качестве участника и отменять свое участие в мероприятии.

Пользователь, принадлежащий к типу организатор, помимо функциональных возможностей участника имеет возможность создавать новое мероприятие, а также редактировать информацию и формировать бюджет мероприятия, организатором которого является данный пользователь.

Меню формирования бюджета мероприятия представлено на рисунке 2.

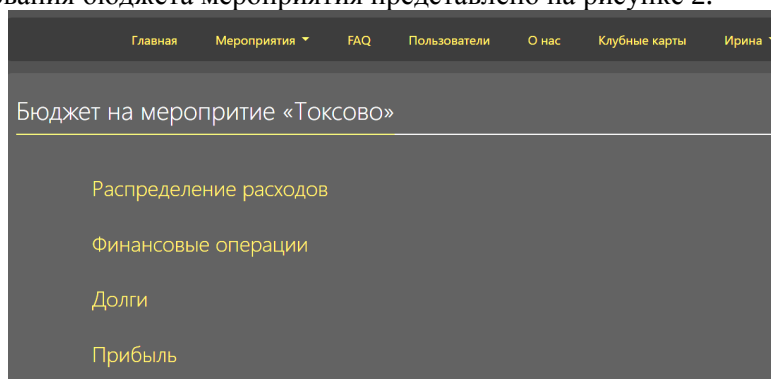


Рис. 2. Меню формирование бюджета мероприятия

Также организатор может добавлять новые клубные карты и редактировать информацию о существующих.

Пользователь, принадлежащий к типу администратор, обладает доступом ко всем функциональным возможностям, перечисленным выше.

В результате выполнения данной работы было разработано веб-приложение для автоматизации управленческого учета и бюджетирования клуба активных путешествий. Используемые при разработке данного программного продукта технологии могут быть использованы для создания подобных продуктов в схожих сферах деятельности.

Список литературы

1. Златопольский Д.М. Основы программирования на языке Python. – М.: ДМК-Пресс, 2018. – 396 с.
2. Дронов В.А. Django 2.1. Практика создания веб-сайтов на Python. – СПб.: БХВ-Петербург, 2019. – 672 с.
3. Шварц Б., Ткаченко В., Зайцев П. MySQL по максимуму. Оптимизация, репликация, резервное копирование. – СПб.: Питер, 2018. – 864 с.
4. Дакетт Дж. HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов. – М.: Эксмо, 2020. – 480 с.
5. Браун Э. Изучаем JavaScript. Руководство по созданию современных веб-сайтов. – М.: Альфа-книга, 2017. – 368 с.

Сведения об авторах:

Кузнецова Ирина Романовна – магистрант;

Букунов Александр Сергеевич – ассистент.

МЕТОДИКА ПОДБОРА СТРУЙНОГО НАСОСА СКВАЖИННОЙ УСТАНОВКИ

Макарова Т.Г.

Альметьевский государственный нефтяной институт, Альметьевск

Ключевые слова: струйный насос, насос-дозатор, электроцентробежный насос, нефтегазовая эмульсия, насосно-компрессорные трубы, АСПО.

Аннотация. В результате образования АСПО снижается добыча нефти. Наиболее распространенный и эффективный метод борьбы с этим видом осложнений – введение химических реагентов. Способ, основанный на работе двух технических устройств – насоса-дозатора и струйного насоса, позволяет использовать полезную работу жидкости без использования дополнительных источников энергии, и обеспечивает дозирование реагента в полость НКТ. Разработана математическая модель работы скважинной дозирующей насосной установки, основанная на уравнениях сохранения массы, количества вещества и жидкости.

WELL UNIT JET PUMP SELECTION PROCEDURE

Makarova T.G.

Almetyevsk state oil institute, Almetyevsk

Keywords: jet pump, dosing pump, electric centrifugal pump, oil and gas emulsion, tubing, asphalt-resin-paraffin deposits.

Abstract. As a result of the formation of ASPO, oil production is reduced. The most common and effective method of dealing with this type of complications is the introduction of chemicals. The method based on the operation of two technical devices - a dosing pump and a jet pump, allows to use the useful work of the liquid without using additional energy sources, and ensures dosing of the reagent into the tubing cavity. A mathematical model of operation of the downhole metering pump unit was developed, based on the equations of preservation of mass, amount of substance and liquid.

Эффективная добыча трудно извлекаемой нефти установками электроцентробежных насосов связана с осложнениями, такими как асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО). Основной причиной образования АСПО является изменение термодинамического состояния среды, что приводит к осаждению парафинов на внутренней стенке трубы НКТ или в насосах. В результате снижается добыча нефти, а также происходят отказы установок ЭЦН.

Для борьбы с АСПО решаются задачи по удалению уже сформировавшихся отложений или предупреждению отложений в скважинах различными методами. Наиболее распространенными и эффективными являются химические методы. Несмотря на большое число исследований, посвященных разработке технологий удаления органических отложений в нефтепромысловом оборудовании актуальной является разработка технических устройств для дозирования химических реагентов и снижения АСПО [1].

Для повышения эффективности доставки реагента разработана скважинная дозирующая установка, которая представляет собой комбинацию из насоса, дозирующего реагент и струйного насоса [2].

Предлагаемая методика расчета, позволяет объединить работу двух насосов – насоса, дозирующего реагент и струйного насоса.

При рассмотрении всей установки в целом, часть конструкции, в которую включена устьевая емкость, а также вертикальный и горизонтальный участок трубопровода для подачи реагента на входное отверстие струйного насоса условно принимаем за «насос», дозирующий реагент. Конструкция струйного насоса состоит из трех частей: конфузора, камеры смешения и диффузора [3].

Параметры струйного насоса выражаются следующими геометрическими зависимостями:

$$\begin{cases} D_2 = D_1 - \operatorname{ctg}(\alpha_{\text{конф}}) L_{\text{конф}}, \\ D_2 = D_3 - \operatorname{ctg}(\alpha_{\text{диф}}) L_{\text{диф}}; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \alpha_{\text{конф}} = \arctg\left(\frac{D_1 - D_2}{L_{\text{конф}}}\right), \\ \alpha_{\text{диф}} = \arctg\left(\frac{D_3 - D_2}{L_{\text{диф}}}\right); \end{cases} \quad (2)$$

где D_1, D_2, D_3 – диаметры струйного насоса, м; $\alpha_{\text{конф}}, \alpha_{\text{диф}}$ – углы наклона конфузора и диффузора соответственно, град; $L_{\text{конф}}, L_{\text{диф}}$ – длины конфузора и диффузора соответственно, м.

Длину камеры смешения $L_{\text{кс}}$ конструктивно принимают равной:

$$L_{\text{кс}} \sim 7D_2, \quad (3)$$

При моделировании работы устройства используются уравнения сохранения массы, количества вещества и жидкости.

При движении в конфузоре жидкости учитывается коэффициент сопротивлений, который выражен из потерь на трение и потерь на сужение и закон сохранения массы при движении. В камере смешения при движении жидкости происходит турбулизация потока, при этом учитываются силы трения жидкости о стенки. В диффузоре при движении в нем жидкости, также учитывается коэффициент сопротивлений, выраженный из потерь на трение и потерь на расширение.

Скорость реагента определяется с учетом перепада давления на выходе из камеры смешения и давления на входе в отверстие насоса, дозирующего реагент:

$$u_{\text{реаг}} = k \sqrt{\frac{2(p_{\text{реаг.вх}} - p_{\text{вх.кк}})}{\rho_{\text{реаг}}}}, \quad (4)$$

где $k = \left(1 - \left(\frac{D_4}{D_2}\right)^2\right)^2$ – коэффициент расхода, принимается как для внезапного расширения в

трубопроводе; $p_{\text{реаг.вх}} = \rho_{\text{реаг}} g H_{\text{тр.верт}} + \lambda \frac{L_{\text{тр.сум}}}{D_{\text{тр}}} \frac{u_{\text{реаг}}^2 \rho_{\text{реаг}}}{2}$ – давление на входе в отверстие насоса,

дозировующего реагент, Па; $\rho_{\text{реаг}}$ – плотность реагента, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $H_{\text{тр.верт}}$ – расстояние от емкости с реагентом до глубины спуска насоса, дозирующего реагент, м; λ – коэффициент сопротивлений; $L_{\text{тр.сум}} = H_{\text{тр.верт}} + L_{\text{тр.гор}}$ – суммарная длина трубы, составленная из вертикального и горизонтального участков, м; $D_{\text{тр}}$ – диаметр трубопровода, подающего реагент, м; $p_{\text{вх.кк}}$ – давление на входе в камеру смешения, Па.

Также при описании работы конфузора или диффузора следует оперировать таким параметром, как коэффициент кавитации:

$$X = \frac{2(p_{\text{вых}} - p_{\text{нас}})}{\rho_{\text{ж}} \left(\frac{4Q_{\text{жс}}}{\pi D_2^2}\right)^2}, \quad (5)$$

где $p_{\text{нас}}$ – давление насыщения паров жидкости, Па.

Давление на выходе из диффузора (то есть в верхней части, на выходе струйного насоса) будет определяться как:

$$p_{\text{вых.диф}} = p_y + \rho_{\text{см}} g H_{\text{сп}} + \Delta p, \quad (6)$$

где p_y – устьевое давление, Па; $\Delta p = \lambda \frac{L_{\text{НКТ}}}{D_{\text{НКТ}}} \frac{v_{\text{см}}^2 \rho_{\text{см}}}{2}$ – потери давления на трение жидкости в НКТ, Па;

$L_{\text{НКТ}}$ – длина НКТ, м; $D_{\text{НКТ}}$ – диаметр НКТ, м; $v_{\text{см}}$ – скорость смеси, м/с; $\rho_{\text{см}}$ – плотность смеси, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; $H_{\text{сп}}$ – глубина спуска струйного насоса, м.

Список литературы

1. Бакраев М.М., Булюкова Ф.З., Думлер Е.Б. Способы борьбы с АСПО при эксплуатации скважин ЭЦН в условиях гойт-кортовского месторождения // Современные проблемы нефтегазового оборудования-2021. Материалы Международной научно-технической конференции. 2021. С. 113-118.
2. Патент №2752569 РФ. Скважинная дозирующая насосная установка для предотвращения отложений / Уразаков К.Р., Макарова Т.Г., Думлер Е.Б., Вахитова Р.И., Борисов А.О. – №2021104654; заявл. 25.02.2021; опублик. 29.07.2021, Бюл. №22.
3. Патент №2517287 РФ. Струйный аппарат для перепуска затрубного газа / Уразаков К.Р., Вахитова Р.И., Сарачева Д.А., Абрамова Э.В. – №2012149306/03; заявл. 19.11.2012; опублик. 27.05.2014, Бюл. №15.

Сведения об авторе:

Макарова Татьяна Георгиевна – старший преподаватель кафедры «Нефтегазовое оборудование и технология машиностроения».

РАЗРАБОТКА КОНВЕРТЕРА УПРАВЛЯЮЩИХ G-КОДОВ В КОМАНДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Ефремов М.А., Фролов Н.Д., Миронов В.А., Егоров И.В.

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов

Ключевые слова: управление, автоматизация, мехатроника, конвертер, промышленный робот, kuka, g-код, kuka robot language, matlab.

Аннотация. Рассматривается разработка конвертера управляющих G-кодов в команды промышленного робота; проблемы, возникающие в данной области; методы и способы решения, которые существуют на данный момент; указываются основные особенности необходимых к переводу языков программирования: G-код – язык станков с ЧПУ и KRL (Kuka Robot Language) – язык промышленным роботам Kuka, используемых в данном исследовании; показан итоговый результат, в котором программа не только переводит команды с одного языка на другой, а анализирует их выполнимость с учётом ограничений кинематики робота и взаимодействует с поворотным столом для обеспечения требуемого движения, при этом имея понятный и простой интерфейс.

DEVELOPMENT OF A CONVERTER OF CONTROL G-CODES INTO INDUSTRIAL ROBOT COMMANDS

Efremov M.A., Frolov N.D., Mironov V.A., Egorov I.V.

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Saratov

Keywords: control, automation, mechatronics, converter, industrial robot, kuka, g-code, kuka robot language, matlab.

Abstract. Development of a converter of control G-codes into industrial robot commands. This application allows you to convert G-code, the language of CNC machines, into the language of industrial robots Kuka (Kuka Robot Language). The developed program not only translates commands from one language to another, but analyzes their feasibility, taking into account the limitations of the kinematics of the robot and interacts with the turntable to provide the required movement. Moreover, the converter has a clear and simple interface.

Обобщенно задачу любого промышленного робота можно представить в виде перемещения по необходимой траектории некоторого инструмента, установленного на фланце робота. В промышленности роботы – не единственное оборудование, осуществляющее перемещение инструмента по траектории. Наиболее распространенным примером такого оборудования являются станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

Станки с ЧПУ на сегодня используются практически на каждом предприятии. К списку технологий, реализуемых с применением станков с ЧПУ, относятся: механическая обработка, лазерный раскрой, аддитивные технологии (3D-печать) и т.д. Технология использования станков с ЧПУ давно отработана, сами станки выпускаются многими производителями по всему миру. В процессе развития был сформирован универсальный язык программирования – G-код. G-код представляет собой команды перемещения, в которых задаются координаты точек для перемещения инструмента. Кроме того, в структуре G-кода предусмотрен ряд команд для выполнения вспомогательных действий (включение/выключение шпинделя при механообработке, смена инструмента и т.д.).

Компанией KUKA, которая является одним из крупнейших производителей промышленных роботов и программного обеспечения к ним, было создано несколько вариантов программного обеспечения максимально повторяющего управление и интерфейс станков с ЧПУ. Это сильно упрощает интеграцию роботов в производство. Так была разработана KUKA.CNC. Программа в своей основе имеет ядро системы ЧПУ, полностью интегрированное в систему управления робота, для реализации управляющих программ непосредственно в системе управления от KUKA. Управляющие программы можно редактировать и исполнять с использованием робота без предварительного преобразования в язык KRL (KUKA Robot Language) [3].

Также для более широкого применения создана система KUKA.PLC mxAutomation. Которая может подстраиваться для управления роботом с помощью обычного ПК. Система обеспечивает возможность программирования движений робота и машины в одной и той же локации. И все задачи программирования или задачи оператора для робота могут выполняться исключительно из блока управления машины на пульте управления оператора.

Но все такое программное обеспечение покупается и настраивается отдельно, стоя больших денег. Также проблемой является лицензирование данных программ. Для исключения вышесказанных проблем был разработан конвертер. Который создан в доступной и простой системе программирования – MATLAB и переводит G-код в команды промышленного робота, в нашем случае для роботов компании KUKA [1].

На рисунке 1 представлена блок-схема программы. Сначала задаются необходимые параметры (скорость, ускорение, номер инструмента и базы), дальше загружается файл с G-кодом. При нажатии

кнопки “Конвертировать” в рабочем окне, программа начинает работу. Но при переводе мы можем столкнуться с основной проблемой – сингулярностью.



Рис. 1. Блок-схема

Управление манипулятором базируется на множестве математических вычислений, призванных обеспечить линейные движение за счет изменений совокупности угловых положений нескольких сочленений. В этой связи вполне вероятны ситуации, когда в некой точке математическая функция, используемая в расчетах, стремится к бесконечности или имеет какие-либо разные неоднозначности поведения.

Чтобы преодолеть данную проблему сначала программа решает обратную задачу кинематики (ОЗК), чтобы определить углы поворота каждого из звеньев [2]. И если все в порядке и робот не попадает в состояние сингулярности, то программа выдает получившийся результат конвертирования. Но если проблема существует, то она решается путем введения дополнительных звеньев. Дополнительные звенья вводятся в виде поворотного стола, на котором крепится обрабатываемое изделие.

На рисунке 2 представлен внешний вид рабочего окна конвертера.



Рис. 2. Рабочее окно программы

Рабочее окно состоит из большой управляющей кнопки, дающей начало всему процессу; из блока параметров, где можно вводить дополнительные параметры обработки; два поля, для ввода данных (G-кода) и вывода результата (в виде языка KRL). И из управляющих блоков этих полей, где можно загрузить необходимый файл, сохранить результат, очистить поле для нового конвертирования, есть необходимая информация о программе и выход из неё.

Результатом проделанной работы стал прототип конвертера для управляющих G-кодов в команды промышленного робота. В качестве языка промышленного робота использовался язык роботов KUKA – Kuka Robot Language (KRL). Итоговая программа во многом решает существующие проблемы: она доступна для работы на любом компьютере, отвечает необходимым требованиям функционирования и не затрагивает системные файлы при своей работе. Также имеет широкий спектр применения и может использоваться для изучения студентами языка программирования робота.

Список литературы

1. KUKA System Software 8.3 - Operating and Programming Instructions for System Integrators – KUKA Roboter GmbH Zugspitzstraße 140 D-86165 Augsburg Germany – 2015, 457p.
2. Большаков А.А., Глазков В.П., Егоров И.В., Лавров А.В., Пчелинцева С.В. Использование технологий распределенных вычислений для решения сложных технических задач в дистанционной образовательной среде вуза // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. управление, вычисл. техн. информ. 2011. № 1. С. 99-107.
3. Mühe Henrik, Angerer Alwin, Hoffmann Alwin, Reif Wolfgang – On reverse-engineering the KUKA Robot Language - Workshop on Domain-Specific Languages and Models for Robotic Systems - Sep. 2010.

Сведения об авторах:

Ефремов Максим Александрович – магистрант;

Фролов Никита Дмитриевич – магистрант;

Миронов Вячеслав Александрович – магистрант;

Егоров Игорь Владимирович – к.т.н., доцент.

МЕХАНИЗМ ПРЯМОГО ПУСКА

Хадеев Р.Г.

г. Обнинск

Ключевые слова: дифференциал, фрикционная муфта, крутящий момент, передаточное отношение.

Аннотация. В статье рассматривается работа устройства прямого пуска тяжелых машин, которое при пуске увеличивает на ведомом валу крутящий момент в несколько раз с изменением передаточного отношения и позволяет выполнить пуск в автоматическом режиме. При пуске не возникают пиковые значения тока. Устройство простое, недорогое и надежное. Его применение позволяет использовать электродвигатели меньшей мощности.

DIRECT START MECHANISM

Khadeev R.G.

Obninsk

Keywords: differential, friction clutch, torque, gear ratio.

Abstract. The article discusses the operation of a direct start device for heavy machines, which, at start-up, increases the torque on the driven shaft several times with a change in gear ratio and allows starting in automatic mode. There are no current peaks during start-up. The device is simple, inexpensive and reliable. Its use allows the use of electric motors of lower power.

Прямой пуск машины с электродвигателем процесс напряженный по току, который на порядок превышает оптимальный. Это приводит к перегреву обмоток, вибрациям и разрушению опорных подшипников. Есть несколько способов уменьшить разрушительные нагрузки, например, наиболее отработанный и распространенный, это управление частотой питающего напряжения. Частотные преобразователи, сложные и дорогие электронные устройства фактически только растягивают пуск, защищая электромотор от пиковых нагрузок. Работа частотных преобразователей описана в [1]. Экономичные электродвигатели имеют небольшой пусковой момент, поэтому в производстве возникают проблемы с пуском, особенно если машина в загруженном состоянии была остановлена и требуется повторный пуск, например конвейер, перемешивающая или камнедробильная машина. Также в обычной эксплуатации пуск всегда является самым нагруженным моментом работы электродвигателя.

Можно значительно уменьшить пусковые нагрузки, включив между двигателем и машиной простое устройство. Такая трансмиссия в несколько раз увеличивает крутящий момент на ведомом валу. Это позволяет использовать электродвигатели значительно меньшей мощности, нет пиковых значений тока при пуске, устройство простое, а значит надежное и недорогое. На рисунке 1 показана схема такого устройства.

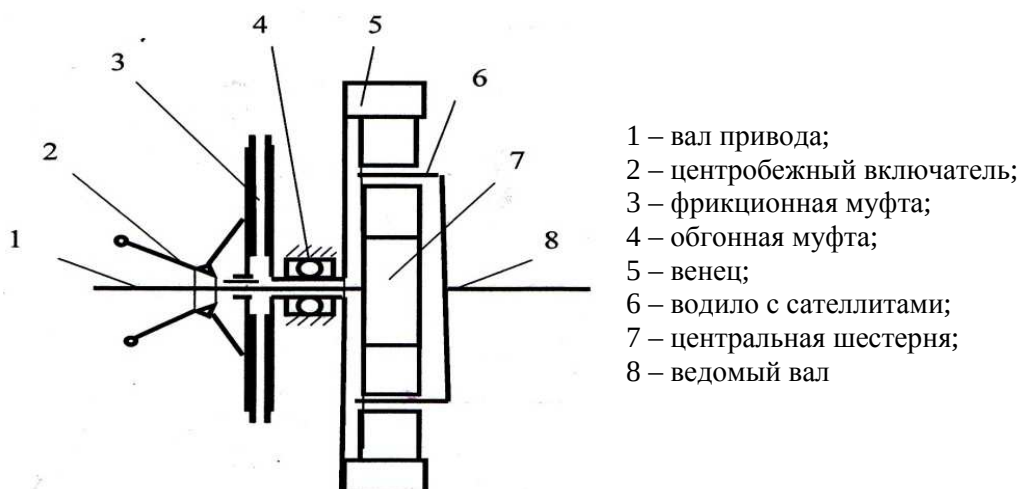


Рис. 1. Схема

Фрикционная муфта 3, соединенная с валом привода 1, управляется инерционным выключателем 2, соединена с входом асимметричного дифференциала, центральным колесом 7. Один выход дифференциала, водило с сателлитами 6, передающий больший крутящий момент, соединен с ведомым валом 8, а второй выход, венец дифференциала 5, который стремится вращаться в обратную сторону, соединен с ответной частью фрикционной муфты и с обгонной муфтой 4, ответная часть которой соединена с корпусом. При пуске фрикционная муфта не передает вращение, её диски рассоединены. Венец дифференциала остановлен обгонной муфтой и дифференциал работает как редуктор, передавая

на ведомый вал крутящий момент, определяемый его передаточным отношением. После разгона вала привода центробежный включатель соединяет диски фрикционной муфты, и обгонная муфта освобождает выход дифференциала. Пока есть проскальзывание, дифференциал частично блокируется фрикционной муфтой. Вращение передается через шестерни дифференциала и через вращение дифференциала вокруг вала привода. Крутящий момент на ведомом валу при этом выше крутящего момента вала привода в два раза и, с уменьшением проскальзывания в муфте уменьшается, так как доля передаваемого вращения через шестерни с уменьшением проскальзывания уменьшается. Когда проскальзывания в муфте нет, обороты и крутящий момент на ведомом валу равны крутящему моменту вала привода. Выбор передаточного отношения планетарной передачи зависит от особенностей работы планетарной передачи. Передаточное отношение на ведомый вал на единицу больше его значения, передаваемого на второй выход, соединенный с фрикционной муфтой [2]. С учетом того, что разгон происходит при не включенной муфте, а она вступает в работу позже, и крутящий момент при уменьшении проскальзывания уменьшается, то выбор передаточного отношения планетарной передачи нужно будет определять в каждом случае в зависимости от предназначения устройства.

При пуске с использованием такого механизма происходит значительное увеличение крутящего момента на ведомом валу, что невозможно при использовании иного пускового устройства [3]. Пуск двигателя происходит при меньшей нагрузке по току. Это позволяет в случае эксплуатации загруженных машин, например конвейеров, перемешивающих устройств и многих других, не разгружать их при пуске. Становится возможным пуск вентиляторов, центрифуг, газоперекачивающих агрегатов и других тяжелых машин без применения электронных пусковых устройств. Применение механизма прямого пуска позволяет уменьшить мощность электродвигателя и избежать критических значений пускового увеличения тока.

Список литературы

1. Сыромятников И.А. Режим работы асинхронных и синхронных электродвигателей. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 528 с.
2. Антонов А.С., Артамонов Б.А., Коробков Б.М., Магидович Е.И. Планетарные передачи // Танк. – М.: Воениздат, 1954. – С. 422-429.
3. Патент №2726378. Устройство преобразующее обороты и момент вращения двигателя / Хадеев Р.Г. – №2020-102195, приоритет от 20.01.2020; опубли. 13.07.2020 Бюл. № 20.

Сведения об авторе:

Хадеев Равиль Гафиевич – к.т.н.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕЧЕНИЯ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА И РАСПЛАВА ПОКРЫТИЯ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ РАДИАЛЬНОГО ПОДШИПНИКА

Киришчиева В.И., Мукутадзе А.М., Мукутадзе М.А.

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону

Ключевые слова: гидродинамика, микрополярный жидкий смазочный материал, расплавленная поверхность, нестандартная опорная поверхность.

Аннотация. В работе на основе уравнения течения микрополярной жидкости для «тонкого слоя», уравнения неразрывности, а также уравнения, описывающего радиус расплавленного контура вала, покрытой металлическим сплавом с учетом формулы скорости диссипации механической энергии, найдено асимптотическое и точное автомодельное решение для нулевого и первого приближения радиального подшипника скольжения адаптированным к условиям трения опорным профилем и металлическим покрытием с учетом зависимости вязкости от давления.

MATHEMATICAL MODEL OF THE FLOW OF LUBRICANT AND COATING MELT IN THE WORKING GAP OF A RADIAL BEARING

Kirishchieva V.I., Mukutadze A.M., Mukutadze M.A.

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don

Keywords: hydrodynamics, micropolar liquid lubricant, molten surface, non-standard bearing surface.

Abstract. In the work, based on the equation of the flow of a micropolar liquid for a "thin layer", the continuity equation, as well as the equation describing the radius of the molten contour of a shaft coated with a metal alloy, taking into account the formula of the rate of dissipation of mechanical energy, an asymptotic and exact self-similar solution for the zero and the first approximation of a radial sliding bearing with a support profile adapted to friction conditions and a metal coating, taking into account the dependence of viscosity on pressure.

Введение

Разработке расчетной модели радиальных подшипников скольжения с металлическим покрытием посвящено значительное количество работ [1-10]. Однако процесс смазывания на расплавах покрытий не является самоподдерживающимся процессом. Для обеспечения самоподдерживающегося процесса смазывания подшипников скольжения возникает необходимость не только наличия покрытия на одной из контактных поверхностей, но и постоянного наличия смазочного материала, которое можно обеспечить при постоянной подаче смазочного материала или пористым покрытием на другой контактной поверхности [11-23], а также нестандартным опорным профилем.

В предлагаемой работе для обеспечения самоподдерживающегося процесса и гидродинамического режима течения приводится расчетная модель радиального подшипника скольжения с нестандартным опорным профилем подшипниковой втулки и металлическим покрытием поверхности вала с учетом зависимости вязкости смазочного материала от давления.

Постановка задачи

Рассматривается установившееся течение несжимаемой жидкости и расплава покрытия в рабочем зазоре. Подшипник с некруговым профилем опорной поверхности неподвижен, а вал вращается со скоростью Ω . В системе координат (рис. 1) r', θ с полюсом в центре вала уравнения контуров вала с покрытием C_1 , вала с расплавленным контуром поверхности C_0 , подшипниковой втулки некруговым профилем опорной поверхности C_2 и подшипниковой втулки запишутся в виде

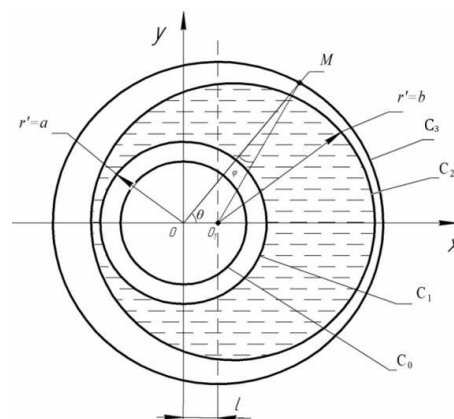


Рис. 1. Расчетная модель

$$C_1: r' = r_0, \quad C_0: r' = r_0 - \lambda' f(\theta), \quad C_2: r' = r_1(1+H) - a' \sin \omega \theta, \quad C_3: r' = r_1(1+H). \quad (1)$$

Полагаем, что вязкостные характеристики зависят от давления по закону

$$\mu' = \mu_0 e^{\bar{\alpha} p'}, \quad \kappa' = \kappa_0 e^{\bar{\alpha} p'}, \quad \gamma' = \gamma_0 e^{\bar{\alpha} p'}. \quad (2)$$

С учетом (2) исходными базовыми уравнениями являются безразмерные уравнения: уравнение движения несжимаемой микрополярной жидкости для «тонкого слоя», уравнение неразрывности и уравнение, описывающее профиль расплавленного контура покрытия поверхности вала с учетом скорости диссипации механической энергии, с соответствующими граничными условиями:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{N^2}{2N_1 h} (2r - h) = -\frac{1}{\alpha} \frac{dz}{d\theta}; \quad \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial \theta} = 0; \quad v = \frac{1}{2N_1 h} (r^2 - rh);$$

$$z \frac{d\Phi(\theta)}{d\theta} = -K \int_{-\Phi(\theta)}^{h(\theta)} \left(\frac{\partial u_0}{\partial r} \right)^2 dr; \quad (3)$$

$$v = 0, \quad u = 0 \quad \text{при} \quad r = 1 + \eta \cos \theta - \eta_1 \sin \omega \theta;$$

$$v = 0, \quad u = 1 \quad \text{при} \quad r = 0 - \Phi(\theta); \quad z(0) = z(2\pi) = e^{-\alpha \frac{p_g}{p^*}}. \quad (4)$$

Асимптотическое решение системы дифференциальных уравнений (3) с учетом граничных условий (4) находим в виде

$$\begin{aligned} v(r, \theta) &= v_0(r, \theta) + K v_1(r, \theta) + K^2 v_2(r, \theta) + \dots; \\ u(r, \theta) &= u_0(r, \theta) + K u_1(r, \theta) + K^2 u_2(r, \theta) + \dots; \\ \Phi(\theta) &= -K \Phi_1(\theta) - K^2 \Phi_2(\theta) - K^3 \Phi_3(\theta) - \dots; \\ p(\theta) &= p_0(\theta) + K p_1(\theta) + K^2 p_2(\theta) + K^3 p_3(\theta) \dots \end{aligned} \quad (5)$$

С учетом (5) система дифференциальных уравнений (3) примет вид:

– для нулевого приближения:

$$\frac{\partial^2 u_0}{\partial r^2} + \frac{N^2}{2N_1 h} (2r - h) = -\frac{1}{\alpha} \frac{dz_0}{d\theta}, \quad \frac{\partial v_0}{\partial r} + \frac{\partial u_0}{\partial \theta} = 0 \quad (6)$$

с граничными условиями

$$v_0 = 0, \quad u_0 = 0, \quad v_0 = 0 \quad \text{при} \quad r = 1 + \eta \cos \theta - \eta_1 \sin \omega \theta;$$

$$v_0 = 0, \quad u_0 = 1, \quad v_0 = 0 \quad \text{при} \quad r = 0 - \Phi(\theta); \quad z_0(0) = z_0(2\pi) = e^{-\alpha \frac{p_g}{p^*}}; \quad (7)$$

– для первого приближения:

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial r^2} = -\frac{1}{\alpha} \frac{dz_1}{d\theta}, \quad \frac{\partial v_1}{\partial r} + \frac{\partial u_1}{\partial \theta} = 0, \quad z_0 \frac{d\Phi_1(\theta)}{d\theta} = -K \int_{\Phi}^{h(\theta)} \left(\frac{\partial u_0}{\partial r} \right)^2 dr \quad (8)$$

с граничными условиями

$$\begin{aligned} v_1 &= \left(\frac{\partial v_0}{\partial r} \right) \Big|_{r=0} \cdot \tilde{\Phi}; \quad u_1 = \left(\frac{\partial u_0}{\partial r} \right) \Big|_{r=0} \cdot \tilde{\Phi}; \\ v_1 &= 0, \quad u_1 = 0, \quad v_1 = 0 \quad \text{при} \quad r = h(\theta) + \tilde{\Phi}; \\ z_1(0) &= z_1(2\pi) = 0, \quad \Phi(0) = \Phi(2\pi) = h_0^*. \end{aligned} \quad (9)$$

Точное автомодельное решение задачи для нулевого и первого приближения будем искать по известному методу [24]. В результате для поля скоростей и давления получим следующие аналитические выражения:

– для нулевого приближения:

$$\begin{aligned} \tilde{\Psi}'_0(\xi) &= \frac{\tilde{C}_2}{2} (\xi^2 - \xi), \quad \tilde{u}_0 = \tilde{C}_1 \frac{\xi^2}{2} - \frac{N^2}{2N_1} \left(\frac{\xi^3}{3} - \frac{\xi^2}{2} \right) - \left(\frac{N^2}{12N_1} + \frac{\tilde{C}_1}{2} + 1 \right) \xi + 1; \\ z_0 &= -6\alpha \left(\eta \sin \theta + \frac{\eta_1}{\omega} (\cos \omega \theta - 1) - \frac{\eta_1 \theta}{2\pi \omega} (\cos 2\pi \omega - 1) \right) + e^{-\alpha \frac{p_g}{p^*}}; \end{aligned} \quad (10)$$

– для первого приближения:

$$\begin{aligned} \tilde{\Psi}'_1(\xi) &= \frac{\tilde{C}_2}{2} (\xi^2 - \xi), \quad \tilde{u}_1(\xi) = \tilde{C}_1 \frac{\xi^2}{2} - \left(\frac{\tilde{C}_1}{2} + M \right) \xi + M, \\ z_1 &= -6M\alpha \frac{\left(\tilde{\eta} \sin \theta + \frac{\tilde{\eta}_1}{\omega} (\cos \omega \theta - 1) - \frac{\tilde{\eta}_1 \theta}{2\pi \omega} (\cos 2\pi \omega - 1) \right)}{(1 + \tilde{\Phi})^2}, \end{aligned} \quad (11)$$

Применяя разложение в ряд Тейлора для функции $e^{-\alpha p}$ и $e^{-\alpha \frac{p_g}{p^*}}$, получим

$$p = \frac{p_g}{p^*} - 6(A + KMB) \left(1 + \alpha \frac{p_g}{p^*} - \frac{\alpha^2}{2} \left(\frac{p_g}{p^*} \right)^2 \right), \quad (12)$$

$$A = - \left[\eta \sin \theta - \frac{\eta_1}{\omega} (\cos \omega \theta - 1) + \frac{\eta_1 \theta}{2\pi \omega} (\cos 2\pi \omega - 1) \right];$$

$$B = \frac{\tilde{\eta} \sin \theta + \frac{\tilde{\eta}_1}{\omega} (\cos \omega \theta - 1) - \frac{\tilde{\eta}_1 \theta}{2\pi \omega} (\cos 2\pi \omega - 1)}{(1 + \tilde{\Phi})^2}.$$

С учетом (6), (8) и (12) определяем нагрузочную способность и силу трения:

$$R_x = p^* r_0 \int_0^{2\pi} \left(p - \frac{p_g}{p^*} \right) \cos \theta d\theta = 0;$$

$$R_y = p^* r_0 \int_0^{2\pi} \left(p - \frac{p_g}{p^*} \right) \sin \theta d\theta;$$

$$L_{тр} = \mu \int_0^{2\pi} \left[\left. \frac{\partial u_0}{\partial r} \right|_{r=0} + K \left. \frac{\partial u_1}{\partial r} \right|_{r=0} \right] d\theta. \quad (13)$$

В результате численного анализа построены зависимости, представленные на рисунке 2.

В экспериментальном исследовании рассмотрена опора скольжения с металлическим покрытием из сплава Вуда (см. табл. 1). По результатам экспериментов определялась величина коэффициента трения, позволяющая судить о наличии гидродинамического режима трения. А также определяли температурный режим и переход гидродинамического режима трения на граничное трение. Анализ экспериментальных исследований показывает, что расплав покрытия влияет на коэффициент трения интенсивнее, чем реологические свойства применяемых жидких смазочных материалов.

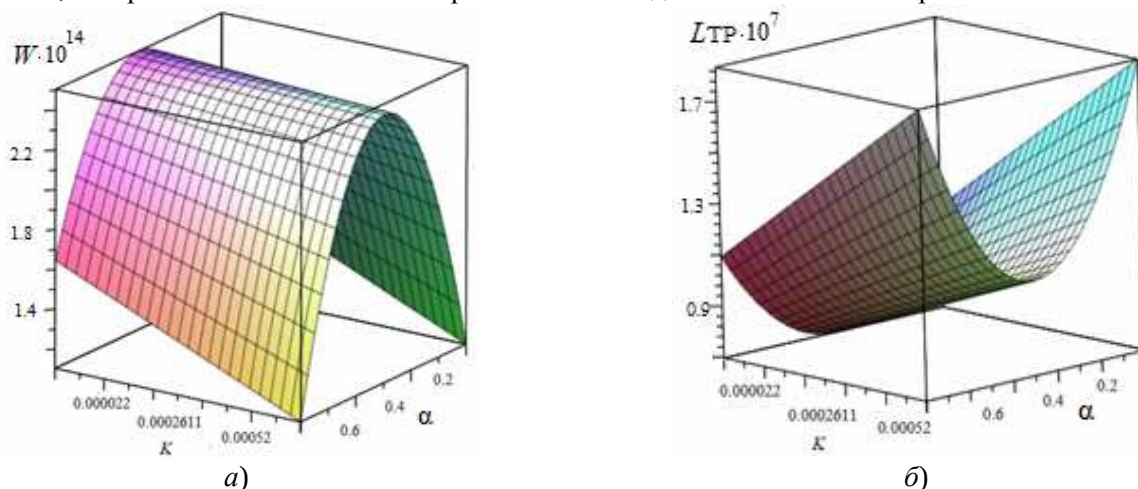


Рис. 2. Влияние параметра ω , характеризующего адаптированный профиль, и параметра α , характеризующего зависимость вязкости от давления, на величину:
а) несущей способности и б) силы трения

Табл. 1. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований

№		Теоретические исследования		Эксперимент. исследования
		без покрытия	с покрытием	с покрытием из сплава Вуда
Коэффициент трения	1	0,0048	0,0024	0,0025
	2	0,0045	0,0023	0,0026
	3	0,0047	0,0025	0,0027
	4	0,0044	0,0026	0,0030
	5	0,0046	0,0029	0,0032

Разработаны новые многопараметрические выражения для основных рабочих характеристик (несущая способность и сила трения) радиального подшипника скольжения с учетом зависимости вязкости смазочного материала и расплава покрытия от давления, обладающих микрополярными свойствами.

Дана оценка влияния параметров переменных факторов, обусловленных расплавом покрытия.

Полученные уточненные расчетные модели радиальных подшипников скольжения позволяют в результате варьирования покрытия регулировать соотношение его несущей способности и коэффициента трения.

Установлена удовлетворительная сходимость теоретических и экспериментальных исследований в подтверждение сделанных теоретических выводов.

Список литературы

1. Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Solop K.S. Working out of an analytical model of an axial bearing taking into account dependence of viscous characteristics of micropolar lubrication on pressure and temperature // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12. No. 14. P. 4644-4650.
2. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Лагунова Е.О., Солоп К.С. Расчетная модель радиального подшипника скольжения с повышенной несущей способностью, работающего на микрополярной смазке с учетом ее вязкостных характеристик от давления // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4 (27). С. 22.
3. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Лагунова Е.О., Солоп К.С. Расчетная модель упорного подшипника скольжения с повышенной несущей способностью, работающего на неньютоновских смазочных материалах с адаптированной опорной поверхностью // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4 (27). С. 23.
4. Мукутадзе М.А., Флек Б.М., Задорожная Н.С., Поляков Е.В., Мукутадзе А.М. Расчетная модель гидродинамической смазки неоднородного пористого подшипника конечной длины, работающего в устойчивом нестационарном режиме трения при наличии принудительной подачи смазки // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3 (26). С. 9.
5. Akhverdiev K.S., Mukutadze M.A., Semenko I.S. Hydrodynamic calculation of a thrust plain bearing that operates with viscoelastic lubricant under turbulent friction conditions // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2011. Vol. 40. No. 4. P. 359-365
6. Ахвердиев К.С.О., Эркенев А.Ч., Александрова Е.Е., Мукутадзе М.А. Стратифицированное течение трехслойной смазки в зазоре упорного подшипника, обладающего повышенной несущей способностью // Трибология и надежность. Сбор. научн. трудов X Международной конференции. СПб.: СПбГУПС, 2010. С. 15-24.
7. Ахвердиев К.С., Александрова Е.В., Кручинина Е.Е., Мукутадзе М.А. Стратифицированное течение двухслойной смазки в зазоре упорного подшипника, обладающего повышенной несущей способностью // Вестник ДГТУ. 2010. Т.10. № 2 (45). С. 217-223.
8. Ахвердиев К.С.О., Мукутадзе М.А., Замшин В.А., Семенко И.С. Гидродинамический расчет радиального подшипника скольжения, работающего в турбулентном режиме трения при неполном заполнении зазора вязкоупругой смазкой // Вестник машиностроения. 2009. №7. С.11-17.
9. Ахвердиев К.С., Лагунова Е.О., Мукутадзе М.А. Гидродинамический расчет радиального подшипника при наличии электромагнитного поля с учетом зависимости вязкости и электропроводимости от температуры // Вестник ДГТУ. 2009. Т.9. № 3 (42). С. 529-536
10. Ахвердиев К.С., Вовк А.Ю., Мукутадзе М.А., Савенкова М.А. Математическая модель гидродинамической смазки бесконечно широких опор, работающих в турбулентном режиме на микрополярной смазке // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2007. № 9. С. 12-15
11. Мукутадзе М.А. Разработка системы расчетных моделей подшипников скольжения на основе развития гидродинамической и реодинамической теории смазки: Автореферат дисс. ... докт. техн. наук. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2015.
12. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Вовк А.Ю., Семенко И.С. Гидродинамический расчет радиального подшипника, работающего в нестационарном режиме на вязкопластичной смазке, обладающей микрополярными свойствами // Вестник РГУПС. 2008. № 4 (32). С. 131-138.
13. Ахвердиев К.С., Мукутадзе М.А., Савенкова М.А., Вовк А.Ю. Математическая модель гидродинамической смазки радиального подшипника, работающего в нестационарном режиме на микрополярной смазке // Вестник РГУПС. 2008. № 1 (29). С. 147-151.
14. Мукутадзе М.А., Хасьянова Д.У., Мукутадзе А.М. Гидродинамическая модель клиновидной опоры скольжения с легкоплавким металлическим покрытием // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2020. № 4. С. 51-58.
15. Mukutadze M.A., Vasilenko V.V., Mukutadze A.M., Opatskikh A.N. Mathematical model of a plain bearer lubricated with molten metal // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering. 2019. P. 012021.

16. Mukutadze M.A., Mukutadze A.M., Vasilenko V.V. Simulation model of thrust bearing with a free-melting and porous coating of guide and slide surfaces // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012031.
17. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Radial friction bearing with a fusible coating in the turbulent friction mode // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2019. Vol. 48. No. 5. P. 421-430.
18. Akhverdiev K.S., Lagunova E.O., Mukutadze M.A. Calculated model of wedge-shaped sliding supports taking into account rheological properties of viscoelastic lubricant // Advances in Engineering Research. Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). 2018. P. 246-253.
19. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Optimization of the supporting surface of a slider bearing according to the load-carrying capacity taking into account the lubricant viscosity depending on pressure and temperature // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Vol. 47. No. 4. P. 356-361.
20. Mukutadze M.A., Lagunova E.O., Vasilenko V.V. Development of the design model of a hydrodynamic lubricating material formed during melting of the axial bearing, in the presence of forced lubrication // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Vol. 47. No. 3. P. 271-277.
21. Akhverdiev K.S., Bolgova E.A., Mukutadze M.A., Vasilenko V.V. Mathematical model of a radial sliding bearing with a porous layer on its operating surface with a low-melting metal coating on shaft surface // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2020. 2021. P. 012005.
22. Кохановский В.А., Мукутадзе М.А. Матричные материалы антифрикционных композитов // Вестник ДГТУ. 2001. Т. 1. № 2. С. 51-56.
23. Lagunova E.O., Mukutadze M.A. Calculation of a radial slider bearing with a fusible coating // Journal of Friction and Wear. 2019. Vol. 40. No. 1. P. 88-94.
24. Mukutadze M.A., Khasyanova D.U. Optimization of the supporting surface of a slider bearing according to the load-carrying capacity taking into account the lubricant viscosity depending on pressure and temperature // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2018. Vol. 47. No. 4. P. 356-361.

Сведения об авторах:

Киришцьева Виктория Игоревна – аспирант;

Мукутадзе Александр Мурманович – к.т.н., доцент;

Мукутадзе Мурман Александрович – д.т.н., профессор.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОЩАДИ КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Сенкевич А.С., Ольштынский С.Н.

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Ключевые слова: поверхностное пластическое деформирование, площадь контактной зоны, промежуточный элемент, инденторы.

Аннотация. В статье описывается метод проведения эксперимента для формирования и исследования контактной зоны и получения различных форм пятен контакта с последующей их обработкой и уточнением в программе, сравнением с теоретическими данными, а также определением значений площади контактной зоны.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE CONTACT ZONE AREA UNDER SURFACE PLASTIC DEFORMATION

Senkevich A.S., Olshtinskiy S.N.

Volgograd State Technical University, Volgograd

Keywords: surface plastic deformation, contact zone area, intermediate element, indentors.

Abstract. The article describes the method of conducting an experiment for the formation and study of the contact zone and obtaining various forms of contact spots with their subsequent processing and refinement in the program, comparison with theoretical data, as well as determining the values of the area of the contact zone.

Одним из самых прогрессивных, экономических и производительных методов обработки отверстий, является метод поверхностного пластического деформирования (ППД), который применяется при обработке различных деталей, таких как цилиндры прессов, труб буровых установок, гидравлических цилиндров, пневматических устройств и многих других, которые работают на знакопеременные нагрузки, абразивном изнашивании, усталостном разрушении.

В настоящее время у большинства современного инструмента, применяемого при ППД в качестве индентора, применяются ролики различной формы. Для обеспечения получения поверхности с заданным качеством при финишной обработке необходимо иметь методику определения рабочих параметров индентора. Для достижения этой задачи необходимо всесторонне изучить и определить рациональное значение параметров контактной зоны. Поэтому проблема исследования параметров контактной зоны взаимодействия деформирующего элемента с обрабатываемой деталью при поверхностном пластическом деформировании является актуальной.

Для подтверждения и уточнения теоретических зависимостей параметров контактной зоны, таких как площадь пятна контакта, глубина внедрения деформирующего элемента в обрабатываемую поверхность, необходимо провести экспериментальные исследования.

Для проведения исследований влияния усилия деформирования на глубину внедрения ролика в поверхность детали и площади контактной зоны спроектирована специальная установка, показанная на рисунке 1, представляющая собой рычажный механизм [1].

На рисунке 2 показана установка деформирующего ролика в призме 4, установленной на муфте 3. Между роликом 9 и деталью 10 устанавливается промежуточный элемент 13.

Стенд позволяет провести экспериментальные исследования влияния усилия деформирования и геометрии деформирующего ролика на геометрию геометрии контактной зоны при следующих варьируемых параметрах: D - диаметр детали; P_y - усилие деформирования; d - диаметр ролика; R - исходная шероховатость.

В качестве обрабатываемой поверхности были использованы сегменты трубы из заранее запланированных диаметров равных 0,092 м; 0,16 м.

В качестве инденторов служили ролики из заранее запланированных диаметром 0,015 м; 0,024 м; 0,042 м. и шарик диаметром 0,020 м.

Для обработки результатов исследований существует алгоритм расчета и программа для автоматизированного определения площади контактной зоны.

Отпечаток, полученный на промежуточном элементе, был отсканирован с разрешением 1200 точек на квадратный дюйм. С целью повышения точности расчетного значения площади отпечатка его изображение после сканирования обрабатывалось в графическом редакторе. Изображение сохранялось в виде файла с расширением BMP [2].

Расчет теоретических геометрических параметров осуществлялся по формуле [3,4]:

$$S_k = \int_0^{L_k} \sqrt{R_\partial^2 - \left[\frac{(R_\partial - r_p) \cdot (R_o + h_k)}{R_o - (r_p + h_k)} \right]^2} dl .$$



Рис. 1. Установка для экспериментальных исследований: 1 - кронштейн; 2 - рычаг; 3 - муфта; 5 - поворотный стол; 6 - устройство для плавного нагружения; 7 - подвеска с переменным грузом



Рис. 3. Фото отпечатка на промежуточном элементе, полученное экспериментальным путем

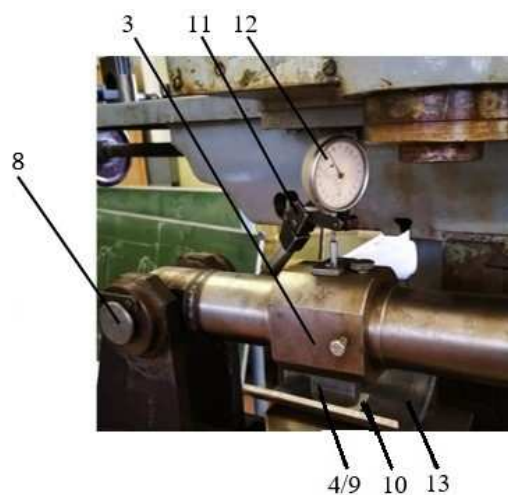


Рис. 2. Механизм нагружения образца заготовки: 4 - призма; 6 - муфта; 8 - ось рычага; 9 - деформирующий ролик; 10 - деталь; 11 - штатив; 12 - индикатор часового типа; 13 - промежуточный элемент; 14 - фиксирующий винт



Рис. 4. Отсканированный отпечаток на промежуточном элементе, обработанный в графическом редакторе; d - диаметр ролика D - диаметр отверстия; $d=24$; $D=92$

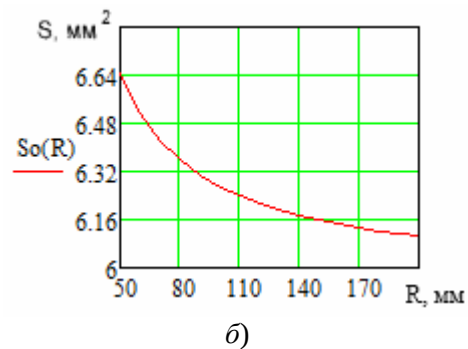
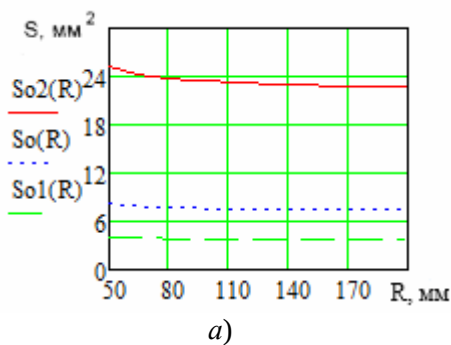


Рис. 5. Графики изменения площади контакта от радиуса обрабатываемого отверстия, а) для ролика $r=12$ ($So2$ - участок сбега; $So1$ - заходной участок), б) для шара $r=10$; глубина внедрения $hm=0.09$; R - радиус отверстия; r - радиус индентора

Результаты исследования были использованы для подтверждения и уточнения теоретических зависимостей при расчете площади контактной зоны при обработке роликами и шариком.

Список литературы

1. Смольников Н.Я., Отений Я.Н., Ольштынский С.Н. Исследования контактной зоны на экспериментальном стенде при поверхностном пластическом деформировании роликом. // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: Материалы Всероссийск. конф., г. Камышин, 24-27 апреля 2002г. / Камышинск. технологич. ин-т (филиал) ВолгГТУ и др. – Камышин, 2002. – С.35.
2. Смольников Н.Я., Ольштынский Н.В., Отений Я.Н. Прогрессивные методы обработки глубоких отверстий: Монография. – Волгоград: ВолгГТУ, 2003. – С. 100-101.
3. Смольников Н.Я., Отений Я.Н., Ольштынский Н.В., Ольштынский С.Н. Анализ геометрических соотношений площади контакта между роликом и деталью при поверхностном пластическом деформировании // Прогрессивные технологии в машиностроении: Межвуз. сб. науч. тр. – Волгоград: ВолгГТУ, 2001. – С. 125-128.
4. Смольников Н.Я., Отений Я.Н., Ольштынский С.Н. Исследование влияния радиуса и глубины внедрения ролика на площадь и объем контактной зоны при обкатывании // Прогрессивные технологии в машиностроении: Межвуз. сб. науч. тр. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002. – Вып. 5. – С. 82-85.

Сведения об авторах:

Сенкевич Александр Сергеевич – магистрант;

Ольштынский Сергей Николаевич – к.т.н., доцент.

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ В ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ INSAR И ТРАССЕРНОГО МЕТОДА

Бахтигареев Г.Г., Поздняков А.П.

Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина, Москва

Ключевые слова: выявление остаточных запасов, InSar, трассерные жидкости, коэффициент извлечения нефти, экологические стандарты современности.

Аннотация. В данной работе будет продолжена тема статьи, в которой рассматривалась идея выявления остаточных запасов нефти в продуктивных пластах при разработке месторождения с использованием методов InSar и трассерного метода. Основная концепция данной статьи – представить алгоритм выявления остаточных запасов нефти путем сокращения уже существующих методов и внедрением современных, а именно, более экономически выгодных, соответствующих экологическим стандартам современности. Использование алгоритма выявления остаточных запасов возможно при совмещении минимум двух методов: InSAR и трассерных жидкостей. Концепция совмещения двух методов представляет собой мониторинг вертикальных и латеральных смещений и изменение гидродинамического сообщения между скважинами со временем, которое позволит выявить незатронутые участки разработки. Представленный алгоритм позволит эффективно разрабатывать объект производства, в последующем увеличить коэффициент извлечения нефти и как результат улучшить экономические показатели проекта.

ALGORITHM FOR DETERMINING RESIDUAL OIL RESERVES IN PRODUCTIVE FORMATIONS USING THE INSAR AND TRACER METHODS

Bakhtigareev G.G., Pozdnyakov A.P.

Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkin, Moscow

Keywords: identification of residual reserves, InSar, tracer liquids, oil recovery factor, environmental standards of today.

Abstract. This paper will continue the theme of the article, which considered the idea of identifying residual oil reserves in productive strata during field development using the InSar and tracer methods. The main concept of this article is to present an algorithm for identifying residual oil reserves by reducing existing methods and introducing modern ones, namely, more cost-effective ones that meet modern environmental standards. The use of the residual reserves detection algorithm is possible by combining at least two methods: InSAR and tracer fluids. The concept of combining the two methods is to monitor vertical and lateral displacements and change the hydrodynamic communication between wells over time, which will reveal unaffected areas of development. The presented algorithm will effectively develop the production facility, subsequently increase the oil recovery factor and, as a result, improve the economic performance of the project.

Введение

В ранее представленной статье [1] были рассмотрены возможности применения метода InSAR и трассерного метода при их совместном использовании с целью увеличения объема добываемой продукции при разработке месторождения. Возможности данных методов имеют перспективный характер с точки зрения частичного замещения существующих методов, предназначенные для обнаружения остаточных запасов углеводородов, и снижения экономических затрат на производстве. Кроме того, данные методы не ограничены использованием во времени. Получение данных и их мониторинг можно проводить круглосуточно, что увеличивает точность получаемой информации и позволяет создавать достоверные прогнозы по выявлению участков с незатронутыми запасами углеводородов.

В рамках данной статьи будет рассмотрена теоритическая концепция алгоритма определения остаточных запасов нефти в продуктивных пластах с использованием методов InSar и трассерного метода.

Алгоритм выявления остаточных запасов нефти при разработке месторождения с помощью трассерных жидкостей и InSAR

Добыча или нагнетание флюидов в коллектор сопровождается падением или ростом порового давления, которое в свою очередь, вызывает изменение эффективного напряжения, что порождает уплотнение продуктивного пласта и возникновения поля смещений в коллекторе и перекрывающих его породах. Это проявляется в виде вертикальных и латеральных смещений дневной поверхности [2,3].

По данному принципу зоны продуктивного пласта, вовлеченные в процесс разработки, через время n можно определить с помощью метода InSar. Участки пласта в результате изменения порового давления будут давать отклик в виде смещений, данный процесс отобразиться на дневной поверхности через определенный промежуток времени. Иными словами, данные, полученные с помощью InSar о процессе латеральных и вертикальных смещений дневной поверхности, возможно конвертировать в изменение порового давления в продуктивном пласте и его объема.

Успешным примером является анализ поверхности земли на территории месторождения Тенгиз, Республика Казахстан. Временной промежуток изучения изменения скорости проседания грунта 2004-

2007гг. Полученная интерпретация данных (рис. 1, 2) показывает, что скорость проседания грунта на разрабатываемом месторождении достигает до 20-22 мм/год. Средняя скорость смещения до 18 мм/год [4].

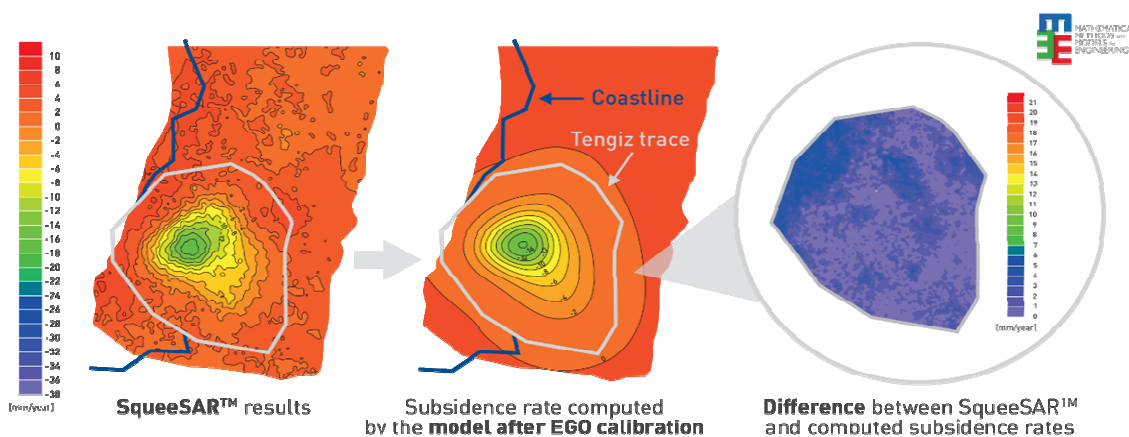


Рис. 1. Скорость проседания грунта на месторождении Тенгиз, Казахстан [4]

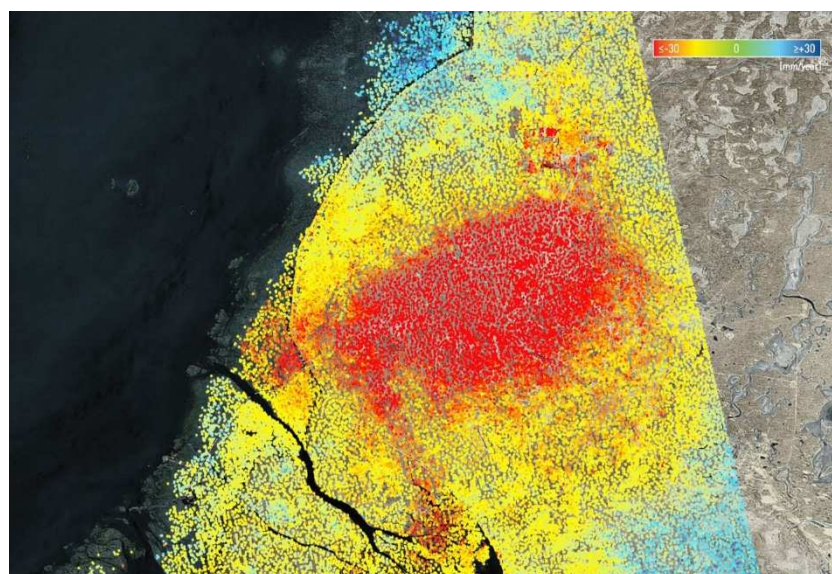


Рис. 2. Карта проседания грунта на месторождении Тенгиз, Казахстан с июня 2004 по май 2007г. [4]

Данные исследования и полученные карты проседания грунта, позволяют определить разрабатываемые зоны месторождения, а так же сформировать группы участков по степени разработки.

После определения зон, вовлеченных в процесс разработки с помощью InSAR, необходимо проверить полученные данные с помощью метода трассерных жидкостей.

После проведения метода трассерных жидкостей необходимо построить карту гидродинамических сообщений и отбить зоны с отсутствием движения флюида в пласте.

В зонах с отсутствием гидродинамического сообщения будет отсутствовать изменение порового давления или оно может быть минимальным.

Получив данные, построить две карты: отсутствия и наличия участков гидродинамического сообщения и зон вертикальных и латеральных смещений и их отсутствия на территории месторождения.

Совмещая две карты, с высокой долей вероятности отбить зоны остаточных запасов нефти, не вовлеченные в процесс разработки.

В зоны остаточных запасов нефти можно производить бурение боковых стволов от пробуренных эксплуатационных или законсервированных скважин, или строить новые эксплуатационные скважины.

Заключение

Учитывая разнообразное количество методов по выявлению остаточных запасов, совместное использование метода трассерных жидкостей и InSAR можно считать перспективным по следующим причинам.

1. Обладают высокой точностью в прогнозировании перспективных участков с остаточными запасами углеводородов, не попавших в процесс разработки.

2. Получение данных в режиме реального времени на постоянной основе.

3. Являются экономически выгодными.

4. Часть данных со спутника возможно получить с архивных материалов и использовать в рамках представленного алгоритма.

5. Соответствует современным экологическим стандартам.

Список литературы

1. Поздняков А.П., Бахтигареев Г.Г. Выявление остаточных запасов нефти в продуктивных пластах при разработке месторождения с использованием методов InSAR и трассерного метода // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина: – 2020. – №4(301). – С. 15-20.
2. Арсеньев-Образцов С.С., Поздняков А.П. Новые направления применения радарной спутниковой интерферометрии (InSAR) для разработки нефтегазовых месторождений и хранения газа в геологических структурах // Газовая промышленность. – 2020. – № 11. – С. 30-34.
3. Арсеньев-Образцов С.С., Поздняков А.П. Математические методы и модели решения задач промысловой геологии, разработки нефтегазовых месторождений и хранения газа в геологических структурах с использованием радарной спутниковой интерферометрии (INSAR) // Газовая промышленность. – 2021. – № 1. – С. 38-42.
4. Del Conte, S., Tamburini, A., Cespa, S., Rucci, A., & Ferretti, A. (2013). Advanced InSAR Technology for Reservoir Monitoring and Geomechanical Model Calibration. SPE Kuwait Oil and Gas Show and Conference.

Сведения об авторах:

Бахтигареев Гадель Гизарович – аспирант;

Поздняков Александр Петрович – д.т.н., доцент, профессор кафедры общей и нефтегазопромысловой геологии.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ГЛУБОКОВОДНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Юнгмейстер Д.А., Смоленский М.П.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: глубоководная добыча, экологичность, производительность, устройства сбора, камера разрежения.

Аннотация. Работа посвящена оценке способов глубоководной добычи с точки зрения их практичности. Рассмотрены основные типы придонных ресурсов и особенности их формы. Представлены сведения о гидравлическом способе подъема глубоководных полезных ископаемых. Подробно описаны механические устройства для сбора железомарганцевых конкреций (ЖМК). Сделан вывод о практичности применения устройств, оснащенных камерами разрежения. Предложено усовершенствование «шагоходного» сборщика ЖМК путем добавления к его передвижному элементу грейфера с гидроударником.

EVALUATION OF MODERN DEEP-SEA MINING METHODS

Yungmeister D.A., Smolenskii M.P.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: deep-sea mining, environmental friendliness, productivity, collection devices, rarefaction chamber.

Abstract. The work is devoted to the evaluation of deep-water mining methods from the point of view of their practicality. The main types of near-bottom resources and peculiarities of their form are considered. Information on the hydraulic method of lifting deep-sea minerals is presented. Mechanical devices for collecting ferromanganese nodules (FMN) are described in detail. It is concluded that it is practical to use devices equipped with rarefaction chambers. It is proposed to improve the "walking" collector of iron-manganese nodules by adding to its movable element a grapple with a hydro-impactor.

Современные методы глубоководной добычи полезных ископаемых, в частности, железомарганцевых конкреций, имеют повышенные требования к экологичности, энергоемкости, безопасности и производительности. Исследуемая проблема современных методов глубоководной добычи актуальна тем, что многие научные предложения в этой сфере не обеспечивают эффективность процесса, не отвечают вышеперечисленным требованиям. Поэтому существует необходимость скорейшей разработки подходящих по этим параметрам установок, позволяющих осуществлять добычу ЖМК.

В данной работе приводятся сведения о состоянии проблемы глубоководной добычи ЖМК на сегодняшний день. Варианты добычных комплексов подразделяются на механические, гидравлические и комбинированные (гибридные). У каждого метода имеются присущие ему преимущества и недостатки.

Места залегания полезных ископаемых расположены на дне Мирового океана на глубине от 1 до 6 километров. Различают три вида придонных ресурсов: глубоководные полиметаллические сульфиды, кобальтомарганцевые корки и железомарганцевые конкреции. Все типы имеют существенные различия от их формы и химического состава до глубины залегания. Например, сульфиды, образующиеся на «курильщиках», имеют чаще всего нагромождение в виде вулканизированной формы. Железомарганцевые конкреции имеют форму, приближенную к сфере и располагаются на дне в виде россыпи. Исходя из данных характеристик, выполняется подбор метода добычи. Наибольшую ценность вышеперечисленных глубоководных залежей представляют железомарганцевые конкреции.

К гидравлическому способу добычи ЖМК относятся эирлифтные установки и подъем ископаемых при помощи трубопровода. Поднятие конкреций со дна, глубиной в 5 км, может быть затруднено из-за невозможности создать давление такой величины, а также вероятности возникновения затора в трубе конкрециями. Решением подобной проблемы выступает предложенная модель трубопровода с использованием промежуточных капсул [1], представленная на рисунке 1. Использование вертикального трубопровода ставит перед исследователями задачу рационального выбора материала изготовления устройства подъема ЖМК по причине повышенного изнашивания стенок пульпопровода при транспортировке.

Из механических методов добычи известны система захвата при помощи погружного ковша-скрепера [2], непрерывная линейная ковшовая система [3], а также сборщики, оснащенные камерами разрежения [4]. Ковшовая система сбора имеет преимущественно легкую эксплуатацию и не требует сравнительно больших финансовых затрат, но существенное воздействие на биоту морского дна нивелирует все вышеперечисленные плюсы. В противовес этому способу предложен экологический подход захвата конкреций за счет разрежения, создаваемого насосами. Предложены два варианта исполнения донного агрегата с камерами разрежения: барабанное [5] и «шагоходное» [6]. В первом варианте обечайка барабана, установленного на лыжи, оснащена коническими отверстиями для захвата. Изображение этого вида глубоководного устройства добычи представлено на рисунке 2. В процессе

удерживания материала и движения всего устройства, барабан проворачивается до того положения, когда конкреции окажутся в верхней части, где разрежение отсутствует – ЖМК под действием силы притяжения попадают в резервуар. Второй вариант исполнения механического агрегата является по праву – одним из перспективных предложений на рынке интеллектуальной собственности. Внешний вид этого сборщика – «паука» представлен на рисунке 3.

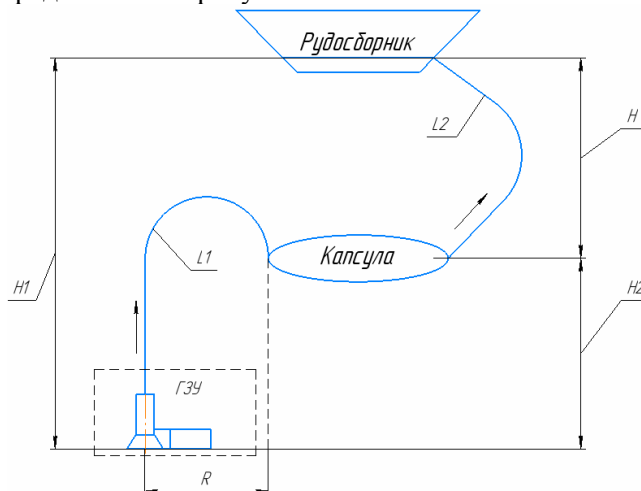


Рис. 1. Модель трубопровода с промежуточной капсулой

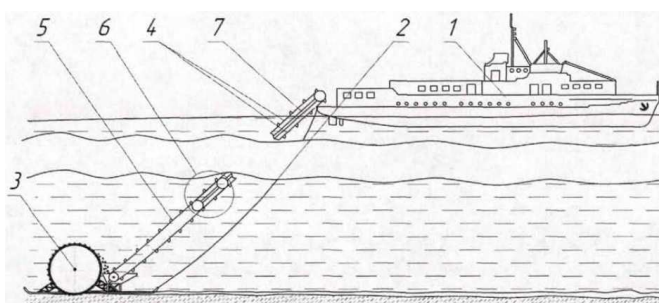


Рис. 2. Барабанное исполнение донного агрегата с камерами разрежения

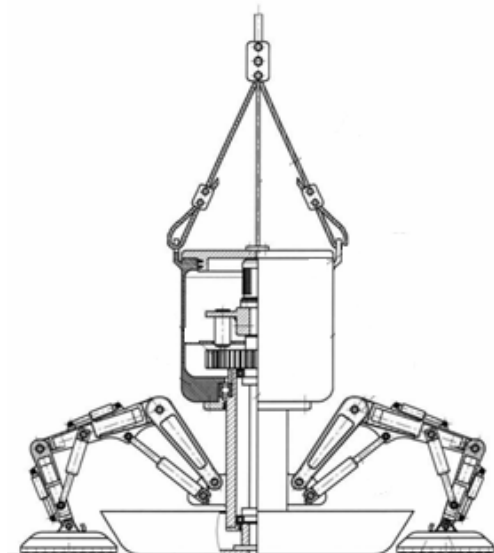


Рис. 3. «Шагаходное» исполнение донного агрегата с камерами разрежения

Принцип действия устройства был описан в работах [7]. Устройство изначально базируется на судне, спускается на кевларовом кабель-тросе на дно, где бункер при помощи «лап» фиксируется. «Лапы» состоят из рычажных механизмов, гидроцилиндров и устройств вакуумного захвата. Процесс добычи осуществляется за счет прижатия отверстий вакуумного захвата к россыпи конкреций, насосом создается разрежение, благодаря чему конкреции удерживаются в зоне конических отверстий. Далее рычаги устройства поочередно выстраивают свое положение таким образом, чтобы при прекращении работы насоса, конкреции сразу попадали в приемный бункер.

В дальнейших работах [8] авторами было проанализирован процесс захвата и установлен недостаток устройства: ограничение захвата ЖМК в зависимости от их размера, а также вероятность захвата пустотелого слоя. Для решение этой проблемы предлагается оснащение устройства вакуумного захвата упругими присосками со встроенными клапанами, пружинами и регулирующим хвостовиком. Данное усовершенствование обеспечивает регулировку подбора конкреций: при попадании ЖМК в область присоски происходит взаимодействие с хвостовиком, толкающим клапан, создается разрежение за счет установленной разницы давлений в камере и ценный элемент плотно схватывается присоской. Пустотелый поршень присоски и пружина дают возможность собирать неровные участки благодаря тому, что придают присоске мобильность, позволяя собрать нижерасположенные ЖМК; можно утверждать, что происходит первичное обогащение конкреций. При использовании грейферных рычагов вероятнее всего будет захвачен пласт пустой породы, вакуумный захват отдельных конкреций эту проблему устраняет.

В качестве будущего исследования предлагается усовершенствование вышеупомянутого способа, где один из рычагов может выступать в качестве грейфера, оснащенного гидроударным элементом, как для формирования более устойчивого положения агрегата, так и для разрушения кобальтомарганцевых корок.

Список литературы

1. Александров В.И., Сержан С.Л. Параметры системы с грунтозаборным устройством для добычи железомарганцевых конкреций морского дна // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 279-291.
2. Тимофеев И.П., Королев И.А. Исследование комплекса добычи железомарганцевых конкреций при движении его гибким тяговым элементом // Записки Горного института. – 2012. – Т. 196. – С. 244-247.
3. Leng D. et al A brief review of recent progress on deep sea mining vehicle // Ocean Engineering. 2021. (228). P. 108565.
4. Юнгмейстер Д.А. Обоснование типов глубоководной техники для добычи морских железомарганцевых конкреций / Д.А. Юнгмейстер, С.М. Сударииков, К.А. Киреев // Записки горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 88-95. – DOI: 10.31897/PMI.2019.1.88.
5. Патент №2375578 РФ. Способ селективного отбора и предварительного обогащения железомарганцевых конкреций и устройство для его реализации / Юнгмейстер Д.А., Смирнов Д.В., Большунов А.В. и др., Санкт-Петербургский горный университет. – Заявл. 26.05.2008, опубл. 10.12.2009, Бюл. №34.
6. Патент №203596 РФ. Устройство для сбора кобальтомарганцевых корок со дна морей / Юнгмейстер Д.А. Королев Р.И. Сержан С.Л. Уразбахтин Р.Ю., Санкт-Петербургский горный университет. – Заявл. 16.02.2021, опубл. 13.04.2021, Бюл. №11.
7. Патент №186415 РФ. Придонное добычное устройство для сбора железомарганцевых конкреций со дна морей / Юнгмейстер Д.А., Исаев А.И., Сержан С.Л., Санкт-Петербургский горный университет. – Заявл. 03.07.2018, опубл. 21.01.2019, Бюл. №3.
8. Патент №193043 РФ. Устройство для сбора железомарганцевых конкреций со дна морей / Юнгмейстер Д.А. Сержан С.Л. Исаев А.И. и др., Санкт-Петербургский горный университет. – Заявл. 29.07.2019, опубл. 11.10.2019, Бюл. № 29.

Сведения об авторах:

Смоленский Максим Павлович – аспирант;

Юнгмейстер Дмитрий Алексеевич – д.т.н., профессор, профессор кафедры машиностроения.

КОМПЛЕКС СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕФТИ**Романько В.В.¹, Епифанов Ю.Г.², Семакина А.А.²**¹*Институт Механики УрО РАН, Ижевск;*²*Удмуртский государственный университет, Ижевск***Ключевые слова:** добыча нефти, закачка раствора, высокоупругие составы, зоны притока.**Аннотация.** В процессе эксплуатации нефтяных скважин неизбежно постепенное падение их дебитов, в связи с чем интенсификация добычи нефти является важнейшей задачей, стоящей перед добывающими предприятиями. Методов повышения дебитов скважин существует множество; в статье рассмотрены некоторые из них, эффективность которых доказана практикой.**A SET OF WAYS TO INCREASE THE OIL RECOVERY COEFFICIENT****Romanko V.V.¹, Semakina A.A.², Epifanov Yu.G.²**¹*Institute of Mechanics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk;*²*Udmurt State University, Izhevsk***Keywords:** oil production, mud injection, highly elastic compositions, inflow zones.**Abstract.** During the operation of oil wells, a gradual drop in their production rates is inevitable, and therefore the intensification of oil production is the most important task facing mining enterprises. There are many methods for increasing well flow rates; the article discusses some of them, the effectiveness of which has been proven by practice.

Авиловское газонефтяное месторождение, расположенное на территории Волгоградской области, было открыто в 2007 году и введено в промышленную разработку в 2014г.

Поисковая скважина №6 установила промышленную нефтегазоносность в терригенных отложениях бобриковского горизонта (C₁bb) визейского яруса нижнего отдела каменноугольной системы. Была выявлена одна нефтяная залежь с газовой шапкой. Основанием для выполнения работ по увеличению притока углеводородов является превышение в 2016 году допустимого отклонения фактической годовой добычи нефти от утвержденной проектной величины. Газонефтяная залежь массивная, неполнопластовая, подстилаемая водой. Коллектор терригенный, поровый. Средняя глубина залегания кровли коллектора 2328,6 м. Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина – 5,1 м, средняя эффективная газонасыщенная толщина – 3,0 м. Водонефтяной контакт принят на абсолютной отметке 1913,6 м, газонефтяной контакт – на абсолютной отметке 1906,5 м. Нефть легкая (плотность – 0,812 г/см³), незначительной вязкости (динамическая вязкость – 0,551 мПа·с), коэффициенты пористости газовой шапки 0,19, нефтяной оторочки пласта 0,20 [1].

Поскольку интервал перфорации вертикальной скважины и горизонтальные стволы всех добывающих скважин находятся в газонефтеводяных зонах, мероприятия по обработке призабойной зоны пласта и работы по гидравлическому разрыву пласта при разработке месторождения проводить не рекомендовалось. Для снижения темпов обводненности залежи следует проводить работы по изоляции водопритока.

Ограничение водопритока. Изоляционные работы. Разработка Авиловского месторождения в основном ведется скважинами с горизонтальным окончанием, что затрудняет применение стандартных ремонтно-изоляционных (РИР) методов (устранение негерметичности эксплуатационной колонны, установка цементных мостов, закачка тампонажных составов и т.д.).

В связи с этим на горизонтальных скважинах были проведены ремонтно-изоляционные работы по отсечению горизонтального ствола пакером-ретейнером с последующим дострелом прикровельной части пласта [2-5]. Работы по данной технологии были выполнены на скважинах №6, 8, 111, 112-Авиловские.

Технология с использованием полимерных тампонажных составов. Технологический процесс состоит из определения зоны притока либо поглощения воды, приготовления и закачки полимерного тампонажного состава, выдержки его до образования вязкоупругих составов (ВУС) с последующим освоением скважины и пуском её в работу. Предложенная вязкоупругая система имеет следующий состав:

- полиакриламид (ПАА) - 0,5 %;
- ПАВ - 1,5 %;
- ацетат хрома - 0,04 %;
- вода пресная техническая - остальное.

Полиакриламид (ПАА) - синтетическое высокомолекулярное соединение. Наиболее часто применяются импортные, порошкообразные ПАА марок РДА - 1041, DKS - ORP - 40NT, DMP 310,

CS - 131 и их аналоги с молекулярным весом выше 10 млн. ед. и степенью гидролиза 5-20% анионного типа, из которых готовят 0,3-1,0% водные растворы[3].

Ацетат хрома $\text{Cr}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ – соединение трёх валентного хрома, представляет собой жидкость тёмно-зеленого цвета. В России выпускается двух видов: с массовой долей хрома 10-12% и 5-7%.

Многофункциональный композиционный (неионогенно-анионоактивный) ПАВ МЛ - 80б (летняя форма) или 81б (зимняя форма) способствует повышенному нефтеотмыву, а также увеличивает пластичность полимерного геля [6-8].

Использование гелеобразующих составов. Одним из методов ограничения притока воды в добывающие скважины в пористых коллекторах является технология закачки вязкопластичных гелеобразующих составов (ГОС) на основе силикатных гелей.

Перспективность использования ГОС для проведения изоляционных работ обусловлена технологичностью приготовления раствора и закачки его в пласт, низкой стоимостью реагентов и их нетоксичностью, высокой прочностью образующегося геля и т.д. При взаимодействии силиката натрия с кислыми агентами образуется золь кремниевой кислоты, переходящий со временем в вязкоупругий гель, который может служить водоизолирующим материалом в промытых высокопроницаемых зонах пласта. Технология с использованием ГОС применима для всех видов пород, широкого диапазона давлений, температур, и т.д. Данная технология включает одновременное приготовление и закачку в скважину гелеобразующего силикатного раствора [9-12].

Для технологии изоляции водопритока в добывающие скважины в нефтенасыщенной части пласта с использованием ГОС необходимы следующие материалы:

- силикат натрия (жидкое стекло) по ГОСТ 13078- 81;
- соляная кислота по ГОСТ 857-78 или кислота соляная ингибированная (ТУ 6-01-714-77);
- вода пресная техническая по ГОСТ 24902-81;
- едкий натр по ГОСТ 2263-79.

При закачке представленных составов рекомендуется проводить следующий комплекс работ:

- проведение ГИС с целью выявления зоны притока воды, источника обводнения;
- определение приемистости пласта;
- закачка водоизолирующего состава в зону притока воды;
- закрытие скважины и выдержка на реакции с ожиданием процесса полимеризации;
- в целях удаления остатков полимерного состава выполнить обратную промывку до выхода чистой воды, провести работы по вызову притока.

Таким образом, стоит отметить, что при выборе эффективного метода повышения нефтеотдачи необходимо учитывать многообразие форм существования остаточной нефти в пласте, а также большое различие свойств нефти, воды, газа и проницаемости нефтенасыщенных зон пластов, не может быть одного универсального метода увеличения нефтеотдачи. Для каждой залежи обоснование наиболее эффективного метода повышения нефтеотдачи должно проводиться на основании комплексных исследований, включающих лабораторно-экспериментальные работы, численное моделирование на адекватных геолого-фильтрационных моделях, опытно-промышленные работы на представительных участках залежи, технико-экономический анализ. Так, для повышения коэффициента извлечения нефти терригенных отложений Авиловского газонефтяного месторождения, с учетом высоких темпов обводненности залежи, подходят мероприятия с определёнными условиями, такие как РИР, обработки призабойной зоны пласта по технологиям ВУС и ГОС.

Список литературы

1. Дополнение к технологической схеме разработки Авиловского газонефтяного месторождения. ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть»; Рук. И.Б. Федотов. – Волгоград, 2017. – 291 с.
2. Шеховцова Е.В., Романько В.В., Ким С.Л. Анализ результатов применения магнитных индукторов различной напряженности при эксплуатации осложненного фонда скважин // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2020. № 5 (119). С. 59-64.
3. Лутфуллин А.А. Основные методы увеличения охвата пластов воздействием в России // Бурение и нефть. 2009. №4.С.43-48.
4. Ким Ю.Л. Исследование проблем прогнозирования показателей нефтедобычи в Удмуртской Республике // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2013. №7. С. 20-24.
5. Шеховцова Е.В., Романько В.В., Ким С.Л. Актуальность применения магнитных индукторов при эксплуатации осложненного фонда скважин // Нефтепромысловое дело. 2020. №3(615). С. 52-58.
6. Ким С.Л., Юхименко В.Г. Экологические аспекты утилизации попутного нефтяного газа при добыче нефти в Удмуртской Республике // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. №9. С. 37-40.

7. Войтенко В.С., Новиков С.С. Реанимация отработанных нефтяных месторождений: проблемы и решения // Технологии. 2016. №2(056). С. 42-48.
8. Шеховцова Е.В., Романько В.В., Ким С.Л. Результаты обработки использования модифицированной воды в пластовых условиях // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2020. №12(348). С. 61-66.
9. Насыров А.М., Епифанов Ю.Г. Негативные факторы, влияющие на целостность эксплуатационных колонн скважин, и методы предупреждения нарушения герметичности // Экспозиция Газ Нефть. 2021. №2(81). С.33-36.
10. Ким Ю.Л. Стратегия диверсификации в нефтегазовых компаниях // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2015. №3. С. 12-15.
11. Соломенников Н.Н., Митюков Н.В., Бусыгина Е.Л., Ким С.Л. Пиротехнический мобильный стенд для ударных испытаний // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2016. № 4. С.42-45.
12. Ким Ю.Л., Козлов И.А. Анализ характеристик нефтяной отрасли Удмуртской Республики // Нефть и газ-2013. Сборник тезисов 67-й Международной молодежной научной конференции. 2013. С. 200.

Сведения об авторах:

Романько Василий Васильевич – аспирант;

Епифанов Юрий Геннадиевич – старший преподаватель;

Семакина Анна Александровна – студент.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СЕЯЛКИ ДЛЯ ПОСЕВА БАХЧЕВЫХ КУЛЬТУР

Акматова С.Ж.

Кыргызский национальный аграрный университет имени К.И.Скрябина, Бишкек

Ключевые слова: бахчевые культуры, сеялка, конструктивно-технологическая схема, высевающий аппарат, пленка, фреза.

Аннотация. В настоящей статье рассматривается вопрос разработки конструктивно-технологической схемы комбинированной сеялки для посева бахчевых культур, исходя из потребностей фермеров и используемой ими технологии, позволяющий за один проход выполнить несколько технологических операций: измельчение почвы, нарезку поливной канавы, укладки мульчирующей пленки и посев семян.

DEVELOPMENT OF A CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL SCHEME OF A SEEDER FOR SOWING MELONS AND GOURDS

Akmatova S.Zh.

Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Skryabin, Bishkek

Keywords: gourds, seeder, constructive-technological scheme, sowing machine, film, cutter.

Abstract. This article discusses the development of a constructive and technological scheme of a combined seeder for sowing gourds, based on the needs of farmers and the technology they use, which allows performing several technological operations in one pass: soil pulverization, cutting an irrigation furrow, laying a mulching film and sowing seeds.

Для разработки конструктивно-технологической схемы сеялки для посева бахчевых культур непосредственно на полевых условиях была исследована существующая технология ручного посева бахчевых культур, используемая фермерами Кыргызской Республики (рис. 1).



Рис. 1. Фото полевых исследований местной технологии ручного посева бахчевых культур

Благодаря проведенным полевым исследованиям была выявлена необходимость разработки комбинированной посевной техники, способной выполнять одновременно несколько технологических операций:

- измельчение почвы;
- нарезка поливной канавы;
- укладка полиэтиленовой пленки на поверхность почвы;
- точный высев семян на отверстия, проделанные на пленке.

Согласно проведенным замерам участка, засеянного бахчевыми культурами были обоснованы основные геометрические размеры конструктивных и технологических узлов сеялки [1].

Была разработана особая конструкция высевающего аппарата колесного типа, обеспечивающий при своем движении точный высев семян, с продельванием отверстий на пленке [2].

В целях сохранения влаги на почве, необходимой для прорастания семян было принято решение внедрить в конструкцию сеялки механизм, укладки мульчирующей пленки [3].

Таким образом, была разработана конструктивно-технологическая схема сеялки для посева бахчевых культур, представленная ниже на рисунке 2.

Сеялка для посева бахчевых культур состоит из следующих основных узлов: рамы 1, навесного устройства 2, фрезы 9, канавокопателя 12, механизма укладки полиэтиленовой пленки, состоящего в

свою очередь из направляющих труб 21, шнекового барабана 14 и дисков 13 и 16, высевающего аппарата колесного типа 17 и других дополнительных и вспомогательных механизмов.

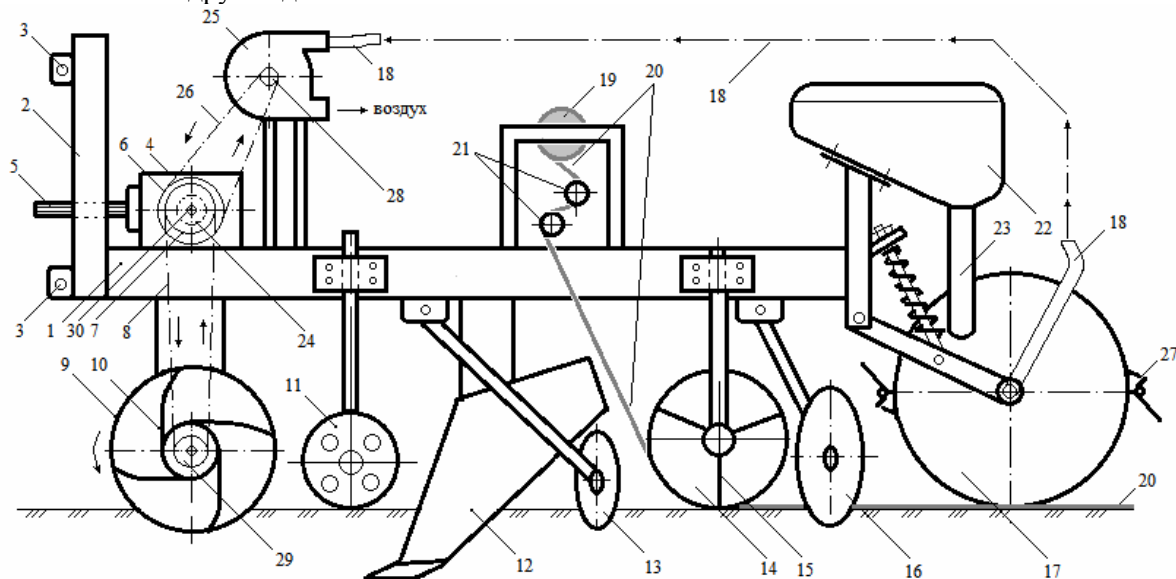


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема сеялки для посева бахчевых культур: 1-рама; 2-навеска сеялки; 3-ушко; 4-конический редуктор; 5-входной вал редуктора; 6-ведущий шкив; 7-ведущая звездочка; 8-цепная передача; 9-фреза; 10-ножи фрезы; 11-опорное колесо; 12-канавокопатель; 13-диск-бороздорез; 14-шнековый барабан; 15-лопасти шнека; 16-закрывающий диск; 17-высевающий аппарат колесного типа; 18-вакуум провод; 19-рулон полиэтиленовой пленки; 20-полиэтиленовая пленка; 21-направляющие трубки; 22-семенной бункер; 23-семяпровод; 24-обгонная муфта; 25-вакуум насос; 26-ременная передача; 27-высевающий рычаг; 28-ведомый шкив; 29-ведомая звездочка; 30-выходной вал редуктора

Сеялка для посева бахчевых культур подготавливается к работе следующим образом.

Благодаря ушкам 3 навески 2, прикрепленной к раме 1, сеялка сцепляется к трактору. Вал отбора мощности (ВОМ) трактора соединяется с ведущим валом 5 редуктора 4. Конец полиэтиленовой пленки из рулона 19 разматывается и пропускается через направляющие трубки 21 и укладывается на землю (под сеялку), и, закапывается.

ВОМ трактора запускается в приподнятом положении сеялки, с целью предотвращения поломок и для набора оборотов фрезой 9 и затем сеялка медленно опускается на землю в рабочее положение.

Сеялка для посева бахчевых культур работает следующим образом. Вращение через ведущий вал 5 передается в конический редуктор 4, где меняет направление вращения на 90 градусов. На выходном валу редуктора 30 устанавливается обгонная муфта 24, служащий для предохранения поломок вращающихся узлов при резкой остановке ВОМ. Выходной вал редуктора 30 приводит в движение ведущий шкив 28, который в свою очередь через ременную передачу 26 приводит в движение вакуум насос 25. В вакуум-насосе образуется вакуум и через вакуум провод 18 вакуум создается также и в высевающем аппарате колесного типа 17, необходимое для его работы. Одновременно с ведущим шкивом 28 вращается и ведущая звездочка 7, который через цепную передачу 8 приводит в действие фрезу 9. Ножи фрезы 10, вращаясь, измельчают почву.

При поступательном движении сеялки канавокопатель 12 своим клином режет почву и проделывать канаву определенного профиля. Опорное колесо 11 регулирует углубление канавокопателя 12 в почву.

При движении сеялки диск-бороздорез 13, делая поступательно-вращательное движение, начинает резать малую борозду - ложу, необходимую для укладки краев полиэтиленовой пленки 20. Идущий за ним, закрывающий диск 16 выполняет одновременно две операции: закрывает края уложенной в борозду полиэтиленовой пленки 20 почвой и бросает часть почвы к торцу шнекового барабана 14. В свою очередь лопасти шнека 15, вращаясь, захватывают и подают почву к середине шнекового барабана 14. По мере накопления, почва выгружается на дно арыка из отверстия, проделанного в центральной части шнекового барабана 14 и тем самым предотвращает сдувание ветром полиэтиленовой пленки 20.

Благодаря уникальной конструкции, высевающий аппарат колесного типа 17 катится по поверхности уложенной пленки и по краям нарезанного арыка, своими высевающими рычагами 27 проделывает отверстия на пленке и в них засеивает семена.

Таким образом, разработанная конструктивно-технологическая схема сеялки включает все необходимые узлы для выполнения требуемых технологических операций посева и способствует дальнейшей разработке конструкторских документаций.

Список литературы

1. Касымбеков Р.А., Акматова С.Ж., Айтуганов Б.Ш. Обоснование конструктивно-технологических параметров сеялки для посева бахчевых культур // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2020. № 4. С. 14-20.
2. Патент №2255. Высевающий аппарат для посева бахчевых культур / Касымбеков Р.А., Айтуганов Б.Ш., Султаналиев Б.С., Осмонов Ы.Дж., Акматова С.Ж. – Оpubл. 16.08.2021, Бюл. №8/1.
3. Коцуба В.И., Пузевич К.Л., Пузевич В.В., Кузюр В.М. Анализ машин для посева под мульчирующую пленку и обоснование движения их рабочих органов // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3. С. 146-150.

Сведения об авторе:

Акматова Сымбат Жамаловна – старший преподаватель кафедры «Тракторы и автомобили».

РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ AL-РЗМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ СВОЙСТВ

*Ворошилов Д.С., Сидельников С.Б., Горохов Ю.В., Ворошилова М.В.
Сибирский федеральный университет, Красноярск*

Ключевые слова: алюминий, совмещенная прокатка-прессование, проволока, механические свойства, электросопротивление, микроструктура.

Аннотация. В статье приведены результаты изучения деформационных режимов и режимов обработки сплавов системы Al-РЗМ, а также исследования микроструктуры, механических и электрофизических свойств деформированных полуфабрикатов из сплава 01417. Разработан режим обработки, при котором достигаются показатели максимальной пластичности и минимального значения электросопротивления проволоки, необходимого размера поперечного сечения.

DEVELOPMENT OF COMBINED PROCESSING MODES FOR OBTAINING SEMI-FINISHED PRODUCTS FROM ALLOYS OF THE AL-REM SYSTEM AND THE STUDY OF THEIR PROPERTIES

*Voroshilov D.S., Sidelnikov S.B., Gorokhov Yu.V., Voroshilova M.V.
Siberian Federal University, Krasnoyarsk*

Keywords: aluminum, combined rolling-extrusion, wire, mechanical properties, electrical resistance, microstructure.

Abstract. The article presents the results of studying the deformation modes and processing modes of alloys of the Al-REM system, as well as studying the microstructure, mechanical and electrophysical properties of deformed semi-finished products from alloy 01417. A processing mode has been developed in which indicators of maximum plasticity and minimum value of wire electrical resistance, the required cross-sectional size are achieved.

Определение закономерностей влияния деформационных и температурно-скоростных параметров процессов совмещенной обработки (таких как совмещенная прокатка-прессование) на микроструктуру и свойства деформированных полуфабрикатов электротехнического назначения из новых высоколегированных алюминиевых сплавов системы Al-РЗМ для нужд авиации и ракетостроения является наукоемкой задачей и требует проведения большого комплекса теоретических, экспериментальных исследований и опытно-конструкторских работ.

Реализация проекта позволит расширить научную базу, которая ускорит внедрение на отечественных предприятиях принципиально новых эффективных технологий и алюминиевых сплавов для производства проводниковой продукции для нужд авиации и ракетостроения. Исследование режимов обработки низколегированных и высоколегированных сплавов системы Al-РЗМ позволит перейти к более прочным сплавам, что позволит не только удовлетворить потребности в электротехнической проволоке авиационной и ракетно-космической промышленности, но и в перспективе удешевить технологию их производства.

Бортовые электрические провода летательных аппаратов занимают все большую долю массы этих объектов, которая достигает до 25%. Таким образом, возникает необходимость снижения массы объекта. Применение алюминиевых проводов позволяет снизить массу аппарата, так как плотность алюминия $2,7 \text{ г/мм}^3$, а меди – $8,9 \text{ г/мм}^3$.

На большой высоте происходит нагрев обшивки летательных аппаратов до $200-250^\circ\text{C}$, что приводит к деформации медной проводки под действием перегрузок. А применение классических электротехнических алюминиевых сплавов позволяет сохранять механические и электрофизические свойства проводки только до 150°C .

Одним из путей снижения массы бортовых проводов является улучшение физико-механических характеристик токопроводящих материалов, т.е. применение алюминиевых сплавов, сохраняющих свои свойства до 250°C (сплав 01417).

В последнее время возникла потребность в проволоке диаметром 0,5 мм, работающей при температуре 250°C . Наиболее подходящий сплав, являющийся базовым для производства такой проволоки – алюминиевый сплав 01417, содержащий 7-9% редкоземельных металлов (согласно ТУ 1-809-1038-2018).

Для изучения деформационных режимов и режимов обработки проводились экспериментальные исследования на установке совмещенной обработки СПП-200, спроектированной на базе прокатного стана ДУО 200 по уже известной методике [1-4]. Основная технологическая схема получения проволоки представлена на рисунке 1.

1. Приготовление расплава	
2. Непрерывное литье заготовки Ø 12 мм в ЭМК	
3. Нагрев заготовки до $T = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$	
4. Совмещенная прокатка-прессование заготовки Ø 12 мм до Ø 5 мм	
5 а. Холодное волочение проволоки до Ø 0,5 мм	5 б. Сортовая прокатка + холодное волочение проволоки до Ø 0,5 мм
6. Отжиг проволоки Ø 0,5 мм по 4 режимам: 350, 400, 450, 500 $^{\circ}\text{C}$, время выдержки в печи – 1 ч	

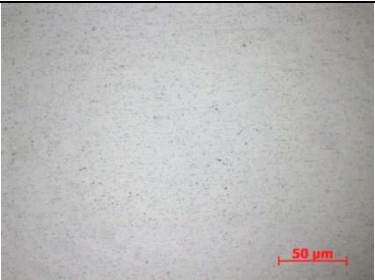
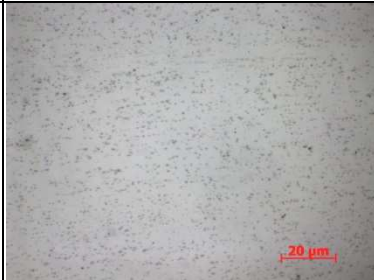
Рис. 1. Основная предлагаемая схема производства проволоки из сплава 01417

Механические свойства определялись с использованием следующего оборудования: Walter + Bai AG универсальная электромеханическая испытательная машина LFM 400 kN для прутков и LFM 20 kN для проволоки (“Walter + Bai AG”, Switzerland) по ГОСТ 1497-84 для прутков и ГОСТ 10446-80 для проволоки [1-4].

Электросопротивление ρ измерялось на образцах длиной 1 м с использованием омметра «Виток» по ГОСТ 7229-76.

На следующем этапе исследовалась микроструктура деформированных полуфабрикатов в виде прутков после СПП и прутков после проходов сортовой прокатки и волочения (табл. 1).

Табл. 1. Микроструктура, механические и электрофизические свойства деформированных полуфабрикатов из сплава 01417

	Увеличение $\times 500$	Увеличение $\times 1000$	σ_B , МПа	δ , %	ρ , Ом·мм ² /м
Волочение Ø5,0 мм → Ø 2,48 мм			231	4,6	0,03162
Сортовая прокатка Ø5,0 мм → □ 2,2 мм			214	5,8	0,03497

Технологическая схема ЭМК+СПП с последующей сортовой прокаткой и волочением или только волочением позволяет получить требуемый уровень механических свойств и электросопротивления согласно ТУ 1-809-1038-2018. Максимальная пластичность, требуемая для дальнейшего производства проволоки Ø 0,1 мм и минимального значения электросопротивления получено на режиме ЭМК+СПП с сортовой прокаткой + волочением, и отжигом при температуре 500 $^{\circ}\text{C}$ с временем выдержки 1 ч.

Работа выполнена в рамках государственного задания на науку ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», номер проекта FSRZ-2020-0013.

Список литературы

1. Sidelnikov S.B., Dovzhenko N.N., Voroshilov D.S. et all. Investigation of the structure of the metal and evaluation of the properties of samples from an alloy of the Al-REM system obtained by the combined methods of casting and forming // Vestnik MGTU im. G.I. Nosova. 2011. No. 2(34). P. 23-28.
2. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Загиров Н.Н. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов. М.: МАКС ПРЕСС, 2005. 344 с.

3. Sidelnikov S.B., Timofeev V.N., Gorokhov Yu.V. et all. Comparative analysis of properties of wires from alloys of Al-REM system, obtained using the methods of continuous extrusion // International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019. No. 8, 2S2. P. 300-304.
4. Sidelnikov S.B., Voroshilov D.S., Pervukhin M.V., Motkov M.M. Development and research of technology for producing electrotechnical wire from alloys of the Al – REM system, obtained with the application of combined machining methods // Tsvetnye Metally. 2019. No. 9. P. 63-68.

Сведения об авторах:

Ворошилов Денис Сергеевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой обработки металлов давлением;

Сидельников Сергей Борисович – д.т.н., профессор, профессор кафедры обработки металлов давлением;

Горохов Юрий Васильевич – д.т.н., доцент, профессор кафедры обработки металлов давлением;

Ворошилова Марина Владимировна – старший преподаватель кафедры обработки металлов давлением.

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ Р6М5 ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Федин Е.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

Ключевые слова: электронно-лучевая наплавка, термоциклирование, композитные покрытия, карбид ванадия, износостойкость.

Аннотация. В работе проведен анализ структурно-фазового состояния композиционного покрытия на основе стали 10Р6М5 при работе в паре трения со сталью ХВГ в интервале скоростей скольжения 1,2-3,6 м/с и нагрузок 20-100 Н. Уже при нагрузке 20...40 Н в матрице покрытия интенсивно развивается обратное $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение, что способствует активному формированию слоя с микрокомпозитной структурой.

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF A COATING BASED ON R6M5 AFTER WEAR RESISTANCE TESTS

Fedin E.A.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Keywords: electron beam surfacing, thermal cycling, composite coatings, vanadium carbide, wear resistance.

Abstract. The paper analyzes the structural-phase state of a composite coating based on 10R6M5 steel when operating in a friction pair with KhVG steel in the sliding speed range of 1.2-3.6 m/s and loads of 20-100 N. Already at a load of 20-40 N in the coating matrix, the reverse $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation intensively develops, which contributes to the active formation of a layer with a microcomposite structure.

В некоторых случаях изготовление деталей целиком из износостойкого материала не является рациональным, в связи с трудностью обработки этого материала и его высокой стоимости. В связи с этим, для повышения эксплуатационных показателей и увеличения срока службы деталей машин используют различные способы поверхностного упрочнения нашедшие широкое применение в производстве разнообразных изделий.

Для решения задач, связанных с упрочнением рабочих поверхностей, активно применяются процессы с использованием концентрированных потоков энергии. Например, значительный прогресс достигнут в технологии электронно-лучевой наплавки изделий в вакууме. Данная технология позволяет организовать микрометаллургический процесс с минимальным воздействием на основной металл, при этом возможно сформировать упрочненный слой, толщина которого регулируется в широких пределах [1-3].

В подавляющем большинстве случаев в качестве износостойкого материала в настоящее время используются композиционные материалы и покрытия. При этом износостойкость этих материалов зависит от структурно-фазового состава матрицы и упрочняющих частиц. Аустенитная и аустенитно-мартенситная структуры матрицы в композиционных покрытиях считаются наиболее благоприятными основами для износостойкого материала [4].

Целью данной работы является изучение структурно-фазового состояния наплавленных композиционных покрытий на основе быстрорежущей стали Р6М5 в паре трения со сталью ХВГ при отсутствии смазки.

Использование способа электронно-лучевой наплавки с применением материала, в котором карбидные частицы имеют разную способность к растворению в жидкой металлической матрице, позволит получить упрочненный слой с однородной структурой и мультимодальным распределением частиц упрочняющей фазы по размерам, что является предпочтительным для износостойких покрытий [4, 5].

В качестве наплавляемого материала использовался порошок быстрорежущей стали М2. Наплавку проводили на плоские заготовки размером 30×200 мм, изготовленные из стали 30. Режимы электронно-лучевой наплавки представлены в таблице 1.

Табл. 1. Режимы процесса электронно-лучевой наплавки

Число проходов	4
Диаметр электронного луча, мм	1
Длина развертки, мм	20
Скорость движения подложки, мм/с	2,8
Время наплавки за один проход, с	~80

Для возврата заготовки в исходное состояние после каждого прохода делался перерыв равный ~80 с, таким образом, материал покрытия испытывал термоциклирование.

Испытания проводились на машине трения СМТ-20 при ступенчатом повышении скорости (1,2, 2,4 и 3,6 м/с) и нагрузки (20, 40, 60, 80 и 100 Н) с постоянным путем трения 2000 м в условиях без смазки.

Контртелом служило колесо диаметром 62 мм и шириной 15 мм, изготовленное из закаленной стали ХВГ (HRC 63...65). Выбор данной стали был обусловлен наличием дополнительного легирования Мо и W, что способствовало дополнительному упрочнению твердого раствора и формированию более стойкого карбида цементитного типа за счет включения этих элементов в его состав и возможным дополнительным образованием сложных оксидов на основе этих элементов в процессе трения.

В качестве меры интенсивности изнашивания было использовано отношение объема материала, потерянного образцами в ходе испытания, к дистанции трения ($\text{мм}^3/\text{км}$).

Упрочняющая фаза в исходных покрытиях представлена карбидами M_6C и VC . Матрица упрочненного слоя представляет собой аустенитно-мартенситную смесь с количеством аустенита около 23-24% от общего объема.

Микроструктура поверхности после испытаний на трение при скорости 1,2 м/с независимо от нагрузки представлена участками практически исходного состояния.

С повышением скорости скольжения до 2,4 и 3,6 м/с поверхность трения состоит из двух типов участков, вытянутых в направлении скольжения. Первый тип представляют собой структуру покрытия с мелкими равноосными карбидами M_6C распределенными в аустенитно-мартенситной матрице. Эти карбиды сформировались за счет измельчения исходных сетчатых эвтектических выделений по границам кристаллитов. Второй тип участков продуктов износа по данным рентгеноструктурного анализа представляют смесь исходных фаз и оксида на основе FeWO_4 с дисперсной структурой. Толщина этого слоя не превышает 200 нм и он покрывает не более 30% площади трибоконтакта для скоростей скольжения 2,4 и 3,6 м/с.

Анализ результатов микрорентгеноспектрального анализа свидетельствует о некотором уменьшении количества W, Mo, V Cr в продуктах износа по сравнению с основным покрытием. Особенно это характерно для режима с большей скоростью скольжения (3,6 м/с), что связано с большим разогревом поверхности на трибоконтактах и, следовательно, окисления продуктов износа.

Для поверхности износа покрытия сталь 10P6M5 в среднем арифметическом отклонении профиля (Ra) нет явной корреляции с зависимостью интенсивности изнашивания от скорости скольжения и нагрузки (рис. 1).

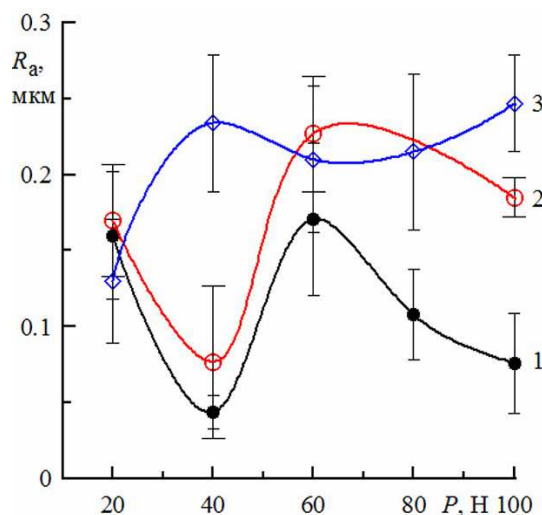


Рис. 1. Микрогеометрия поверхности трения 1- 1,2, 2 – 2,4 3 – 3,6 м/с

Анализ внешнего вида и микроструктуры поверхности трения образцов контртела, показывает наличие отдельных островков намазывания продуктов износа на трущуюся поверхность. Результаты микрорентгеноспектрального анализа продуктов износа свидетельствуют о наличии в их объеме большого количества кислорода по сравнению с участками свободными от намазывания, что обусловлено интенсивным образованием оксидов типа FeWO_4 .

Таким образом, в трибоконтакте 10P6M5-ХВГ уже при нагрузке 20...40 Н в матрице покрытия интенсивно развивается обратное $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение, что способствует активному формированию слоя с микрокомпозитной структурой. Толщина слоя с измельченными эвтектическими карбидами не превышает 2 мкм. Это способствует при меньшей температуре в трибоконтакте значительно уменьшить образования сложных оксидов на основе FeWO_4 и, следовательно, толщины трибологического слоя.

Список литературы

1. Shipway P.H., McCartney D.G., Sudaprasert T. Sliding wear behaviour of conventional and nanostructured HVOF sprayed WC-Co coatings // Wear. 2005. Vol. 259. P. 820-827.
2. Mingzhuo Zhou, Wenlong Lu, Xiaojun Liu, Wenzheng Zhai, Po Zhang, Gengpei Zhang Fretting wear properties of plasma-sprayed Ti_3SiC_2 coatings with oxidative crack-healing feature // Tribology International. 2018. Vo. 118. P. 196-207.
3. Pirso J., Viljus M., Juhani K., Letunovits S. Two-body dry abrasive wear of cermets // Wear. 2009. Vol.266. P. 21-29.
4. Gnyusov S.F., Ignatov A.A., Durakov V.G., Tarasov S.Yu. The effect of thermal cycling by electron-beam surfacing on structure and wear resistance of deposited M2 steel // Appl. Surf. Sci. 2012. Vol. 263. P. 215-222.
5. Gnyusov S.F., Tarasov S.Yu. Structural phase states and heat aging of composite electron-beam clad coatings // Surface & Coatings Technology. 2013. Vol. 232. P. 775783.

Сведения об авторе:

Федин Евгений Александрович – аспирант.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ФОСФОРСОДЕРЖАЩЕГО РУДНОГО СЫРЬЯ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Орехов В.А., Бобков В.И.

Филиал НИУ «МЭИ», Смоленск

Ключевые слова: температура, фосфорит, минералогический состав, химический состав, электропроводность.

Аннотация. В данной статье представлены исследования электропроводности фосфоритов, полученные экспериментальным путем, имеющие важное значение для электротермической обработки фосфоросодержащих пород и руд. Приведены зависимости электропроводности фосфоритов от скорости нагрева. Обнаружено существенное влияние концентраций примесей в исходном материале на его электропроводность в широком диапазоне температур.

SUMMARY OF THERMAL DEFORMATION STUDIES OF PHOSPHORITES DURING FIRING

Orekhov V.A., Bobkov V.I.

Branch of the "National research university "MPEI", Smolensk

Keywords: temperature, phosphorite, mineralogical composition, chemical composition, electrical conductivity.

Abstract. This article presents studies of the electrical conductivity of phosphorites obtained experimentally, which are important in the electrothermal treatment of phosphorus-containing rocks and ores. The dependences of the electrical conductivity of phosphorites on the heating rate are given. A significant effect of impurity concentrations in the starting material on its electrical conductivity over a wide temperature range was found.

Исследование электропроводности фосфоритов является актуальной задачей для рационального использования материалов фосфорной промышленности и определения их технологических свойств [1].

Для получения математических моделей электротехнических и теплотехнологических аппаратов необходимо иметь достоверные данные по электропроводности фосфоросодержащего рудного сырья при термической обработке [2].

Оценка полученных результатов значений электропроводности фосфоритов и фосфатно-кремнистых разностей свидетельствуют о значительном изменении удельной электропроводности при различном количественном содержании основных минералов, образующих исследуемое сырье. Следует также отметить, что некоторые образцы, близкие по составу, имеют существенно различные электропроводности [3]. Причина такого рода расхождений, по-видимому, это различный состав примесей. На рисунке 1 приведены зависимости электропроводности исследуемых образцов от суммы концентраций следующих примесей Na_2O , K_2O , Al_2O_3 , Fe_2O_3 для двух температурных значений 1000 К и 1500 К, соответственно, которые свидетельствуют о весьма существенной зависимости электропроводности от концентрации указанных примесей. Так, изменение суммы концентраций от 1% до 9% сопровождается повышением электропроводности более чем в 30 раз. Причем, отмеченный характер зависимостей сохраняется в широком диапазоне температур [4].

Отмечается также, что повышение суммы концентраций таких компонентов, как CaO , MgO , SiO_2 в фосфоросодержащих рудах и породах способствует снижению электропроводности (рис. 1).

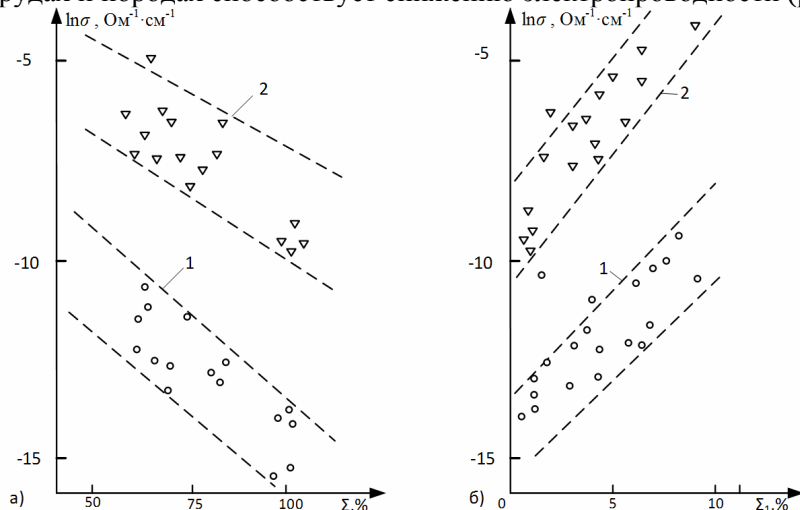


Рис. 1. Влияние зависимости электропроводности фосфоритов от: (а) – концентрации порообразующих минералов, где Σ – сумма концентраций CaO , MgO , SiO_2 в материале; (б) – примесей в структуре, где Σ_1 – сумма концентраций примесей Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 , Al_2O_3 ; Область (1) соответствует температурам 1000К, (2) – температуре 1500К, соответственно

Существенным фактором, оказывающим влияние на электропроводность, является также скорость нагрева образцов [5]. На рисунке 2 приведены полученные зависимости электропроводности фосфоритов от температуры среды при скоростях нагрева 0,11 К/с и 0,33 К/с, соответственно.

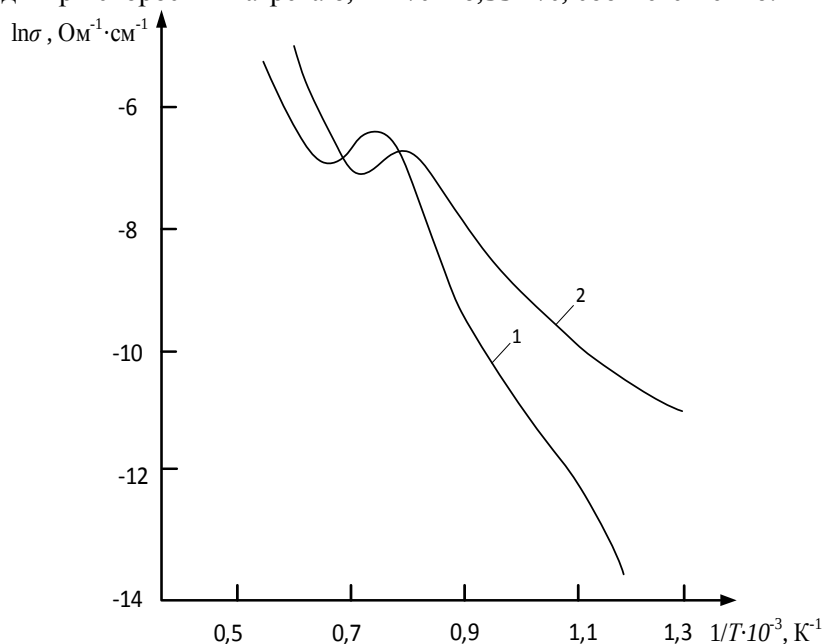


Рис. 2. Зависимости электропроводности фосфоритов от температуры среды при различных скоростях нагрева, составляющих 0,11 К/с (1) и 0,33 К/с (2), соответственно

Характерно, что по мере повышения температуры расхождения в электропроводностях снижаются и практически исчезают при температурах, соответствующих размягчению образцов.

Таким образом, на основании результатов исследования можно сделать выводы, что электропроводность исследуемых материалов зависит, в основном, от концентраций примесей и условий нагрева.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-11-00335.

Список литературы

1. Мешалкин В.П., Дли М.И., Пучков А.Ю., Бобков В.И., Казак А.С. Программное обеспечение эффективных химических технологий переработки отходов апатит-нефелиновых руд // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. 2021. Т. 496. № 1. С. 48-54.
2. Мешалкин В.П., Панченко С.В., Бобков В.И., Дли М.И. Анализ теплофизических и химико-технологических свойств отходов горно-обогатительных комбинатов // Теоретические основы химической технологии. 2020. Т. 54. № 1. С. 30-37.
3. Гуськов А.В., Гагарин П.Г., Гуськов В.Н., Тюрин А.В., Гавричев К.С. Теплоёмкость и термодинамические функции твёрдого раствора $\text{Lu}_2\text{O}_3 - 2\text{HfO}_2$ // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. 2021. Т. 500. № 1. С. 84-88.
4. Леонтьев Л.И., Григорович К.В., Костина М.В. Фундаментальные исследования как основа создания новых материалов и технологий в области металлургии. Часть 1 // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т.61. №1. С. 11-22.
5. Wang S., Guo Y., Zheng F., Chen F., Yang L. Improvement of roasting and metallurgical properties of fluorine-bearing iron concentrate pellets // Powder Technology. 2020. Vol. 376. P. 126-135.

Сведения об авторах:

Орехов Владимир Александрович – ассистент;

Бобков Владимир Иванович – д.т.н., доцент.

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ СЕТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ ПО СХЕМЕ ВЕДУЩИЙ-ВЕДОМЫЙ

Заховаев М.И.

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орёл

Ключевые слова: АСУТП, передача данных, промышленная сеть, протокол, физический уровень, пластиковое оптическое волокно, оптический передатчик (приемник), сплиттер.

Аннотация. Современное производство и промышленность за счет развития средств автоматизации и вычислительной техники невозможны без высокоэффективных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). При проектировании АСУТП возникают проблемы организации процедуры взаимодействия элементов системы, определения алгоритмов обмена и обработки данных. Разработка промышленных сетей является ключевой частью в развитии систем автоматизации производства. В данной статье будет представлено техническое решение по разработке физического уровня на примере решаемых задач конкретной промышленной сети.

DEVELOPMENT OF THE PHYSICAL LAYER OF THE INDUSTRIAL NETWORK FOR CONTROLLING DEVICES ACCORDING TO THE MASTER-SLAVE SCHEME

Zakhovayev M.I.

Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel

Keywords: process control system, data transmission, industrial network, protocol, physical layer, plastic optical fiber, optical transmitter (receiver), splitter

Abstract. Modern production and industry due to the development of automation and computer technology are impossible without highly efficient automated process control systems (PCS). When designing a process control system, problems arise in organizing the procedure for the interaction of system elements, determining the algorithms for data exchange and processing. The development of industrial networks is a key part in the development of industrial automation systems. This article will present a technical solution in the development of the physical layer on the example of the tasks to be solved for a specific industrial network.

Введение

Промышленной сетью называется информационная сеть, объединяющая различные датчики, контроллеры, исполнительные узлы, а также управляющие устройства. Это способ объединения различных физических устройств и выбор архитектуры их взаимодействия.

Промышленные сети выполняют задачи по передаче информации от датчиков и исполнительных механизмов к управляющему контроллеру, осуществляют обмен данными между контроллерами, отвечающими за различные части технологического процесса, и являются средством взаимодействия контроллера с уровнем человеко-машинного интерфейса.

Для организации промышленных сетей используется множество известных интерфейсов и протоколов передачи данных, например, Modbus, Ethernet, CAN, HART, PROFIBUS. Протоколы разрабатываются с учетом области применения и особенностью технических систем, обеспечивая надежное соединение и достоверную передачу данных между различными устройствами.

Промышленные протоколы связи, как правило, определяют взаимодействие на 1, 2 и 7 уровнях модели OSI, то есть на физическом, канальном и прикладном. Остальные уровни не применяются ввиду простоты задачи.

Важнейшее значение в построении промышленной сети имеет разработка физического уровня. Она включает в себя определение среды передачи и длины линии, выбор компонентов сети, топологию, кодирование сигнала, интерфейсы подключения, определение параметров передачи (скорость, вносимые задержки распространения, затухание, искажение сигнала и т.д.).

Во многих случаях достаточно разработать необходимый физический уровень, поверх которого можно использовать любой подходящий стандарт передачи.

Физический уровень промышленной сети

Рассмотрим разработку физического уровня на примере организации промышленной сети, описанной ниже.

Данная промышленная сеть должна обеспечивать обмен данными между частотными преобразователями, работающими параллельно на общую нагрузку. Преобразователи частоты задают режим работы мощного трехфазного двигателя. При этом мощность каждого преобразователя меньше мощности двигателя. Один частотный преобразователь назначается ведущим: он рассчитывает ШИМ сигнал для всех устройств сети, а также осуществляет их синхронизацию на каждом периоде модуляции, несколько остальных узлов назначаются ведомыми: они отправляют параметры своего состояния по запросу ведущего узла. Рассмотрим задачу, где в сети 1 ведущее и 3 ведомых устройства.

Разработанный физический уровень данной сети должен соответствовать ряду требований:

1) к архитектуре сети – необходимо разработать архитектурное решение, которое позволит организовать множественный доступ узлов к каналу связи и которое будет оптимальным для выполнения задачи синхронизации;

2) к помехоустойчивости – необходимо предоставить решение, которое обеспечит наибольшую помехоустойчивость в условиях работы данной промышленной сети;

3) к передаче данных – необходимо, чтобы используемые аппаратные средства передачи обеспечивали требуемую скорость передачи 10 Мбит/с при максимальной длине линии 20 метров. Также необходимо чтобы мощность принимаемого сигнала удовлетворяла требованиям чувствительности приемника, с учетом вносимых потерь компонентов сети.

Для решения поставленных требований при организации физического уровня сети необходимо выполнить следующие задачи:

1) осуществить выбор физической среды передачи и топологии сети;

определить интерфейс и минимальный кадр передачи данных;

2) осуществить выбор компонентов для организации сети, описать их характеристики и схемы соединения;

3) выбрать средство для коммутации узлов, исходя из используемой топологии;

4) выполнить энергетический расчет линии связи;

5) сравнить разработанный физический уровень с существующими аналогичными решениями и сделать вывод.

В первую очередь при разработке физического уровня необходимо определить среду передачи и выбрать топологию сети.

При данных условиях эксплуатации сети, поток данных подвергается воздействию внешних помех широкого спектра, имеющих крайне высокую интенсивность. Основной причиной образования электромагнитных помех является скачкообразное изменение токов и напряжений большой мощности в электрических цепях преобразователя. Их передача происходит как по проводным связям с объектами электросистемы, так и непосредственно через окружающее пространство. Помимо этого, сеть должна охватывать большое расстояние при сохранении скорости передачи. Ввиду этих особенностей, в качестве среды передачи было выбрано оптоволокно.

Достойное место на рынке телекоммуникаций заняло пластиковое оптическое волокно POF. На коротких линиях пластиковое волокно имеет преимущества над медными линиями. Оно обеспечивает качественную передачу и не подвергается электромагнитным помехам. Кроме того, сеть на основе полимерного волокна имеет преимущества в простоте обработки и низкой стоимости активных и пассивных компонентов.

В качестве топологии сети выбрано «Дерево с пассивным оптическим разветвлением». Решения на основе данной архитектуры используют логическую топологию «один ко многим» или «точка – многоточка».

Топология «кольцо» не выбрана, так как вследствие ее использования, пакет будет последовательно передаваться через каждый узел, при том каждый из них будет вносить дополнительную задержку, все это приведет к тому, что пакеты ширококестельной рассылки будут получены ведомыми в различное время относительно друг друга, а с учетом требований синхронизации это нежелательно. Топология «общая шина» также менее пригодна. Данную топологию возможно реализовать при использовании оптических делителей 1х2. Данный вариант нецелесообразен, т.к. на каждом делителе будет теряться половина оптической мощности.

Передача и прием осуществляются по отдельным физическим каналам. Каждый узел сети имеет один оптический вход (Rx) и один оптический выход (Tx).

В качестве способа кодирования был выбран NRZ-код, при котором логическая единица кодируется положительной разностью потенциалов, а логическая ноль - отрицательной.

Для передачи символов используется асинхронный посимвольный способ передачи (UART). Представление бит при передаче одного символа (октета из 8 бит) представлено на рисунке 1.



Рис. 1. «Кадр UART»

Выбор компонентов для организации оптической связи

Разрабатываемая промышленная сеть является пассивной. Данную оптическую сеть характеризует отсутствие активного оборудования, такого как усилители, повторители, коммутаторы и маршрутизаторы. Для нее характерно использование пассивных компонентов, таких как оптические разветвители, коннекторы, адаптеры и само волокно.

Интерфейс обмена частотного преобразователя будет иметь выходы с использованием оптических модулей передачи и приема.

Оптический передатчик, или передающий оптический (оптоэлектронный) модуль – это устройство, осуществляющее преобразование электрического сигнала в оптический для его последующей передачи по оптическому волокну.

В качестве оптического передатчика выбран модуль AFBR-1529Z линейки Versatile Link от компании Broadcom для промышленных линий связи на пластиковом оптическом волокне (POF) 980/1000 мкм. Он представляет собой компактный модуль с типом разъема VL. Согласно документации устройства [3], скорость передачи – до 50 Мбит/с, номинальная оптическая мощность передачи – -2 дБ.

В качестве приемника выбран модуль AFBR-2529Z линейки Versatile Link (VL). Приемный модуль имеет корпус из огнеупорного пластика с оптическим разъемом типа VL. Минимальная оптическая мощность на входе приемника – -22 дБ.

В качестве линии передачи выбран симплексный пластиковый оптоволоконный кабель GH4001 производителя Mitsubishi Chemical. Характеристики кабеля, в соответствии с документацией [4], представлены в таблице 1.

Табл. 1. Характеристики кабеля GH4001

Тип волокна	POF 980/1000 мкм
Длина волны λ , нм	650
Тип кабеля	симплексный
Потери $IL_{\text{каб}}$, дБ/м	0,17
Задержка распространения α , нс/м	5
Показатель преломления	1,492

Для организации выбранной топологии, предполагающей разделение и объединения устройств сети, используется оптический разветвитель (сплиттер). Сплиттер разветвляет световые потоки, при этом обеспечивает равномерное деление мощности и сохраняет ширину полосы пропускания между каждым отдельным кабелем. Пассивная конструкция разветвителя является двунаправленной и функционально независимой от длины волны, ограниченной только физическими свойствами сердцевины волокна из ПММА. В соответствующих схемах разветвитель также может считаться объединителем.

Схема передачи запроса ведущего к ведомым при выбранной топологии с использованием оптического делителя представлена на рисунке 2.

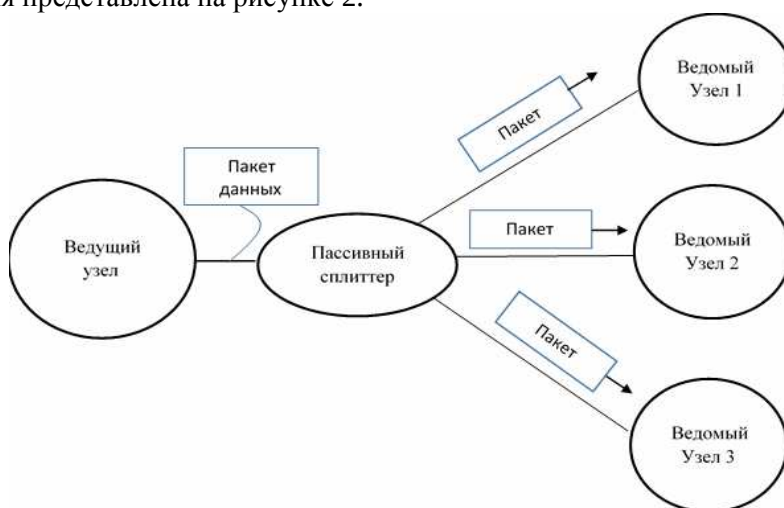


Рис. 2. Схема широковещательного запроса ведущего

Так как для передачи и приема в интерфейсе устройства используются отдельные порты, в схеме применяется второй сплиттер для объединения подчиненных устройств по аналогичной схеме.

Для реализации данной технологии используется разветвитель IF 543 компании «Industrial Fiber Optics» на основе выбранного для оптической линии пластикового волокна (POF) серии GH4001. Характеристики сплиттера, в соответствии с документацией [5], представлены в таблице 2.

Табл. 2. Характеристики сплиттера IF 543

Тип волокна	POF 980/1000 мкм
Диаметр волокна, мм	2,2
Длина волны, нм	650
Тип кабеля	симплексный
Коэффициент деления по мощности	33:33:33
Направление	двунаправленный
Вносимые потери (макс.), дБ	Порт А - Порт В 8.2 Порт А - Порт С 8.2 Порт А - Порт D 8.2

Для разъёмного соединения кабелей и сплиттеров с пластиковым волокном используются оптические коннекторы серии HFBR-45xxZ семейства Versatile Link для пластикового оптического волокна (POF) 980/1000 мкм в оболочке 2,2 мм. Тип коннектора -VL. Для реализации выбран коннектор HFBR-4511Z, имеющий фиксирующий механизм с помощью обжимного кольца. Типовое значение вносимых потерь 0,5 дБ.

Схема соединения оптоволоконного кабеля с коннектором представлена на рисунке 3.

Вид оптического сплиттера с подключенными коннекторами представлен на рисунке 4.

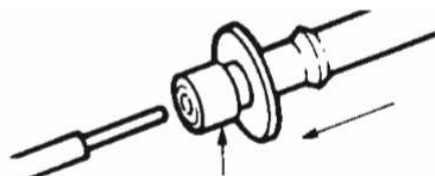


Рис. 3. Схема соединения оптоволоконного кабеля с коннектором

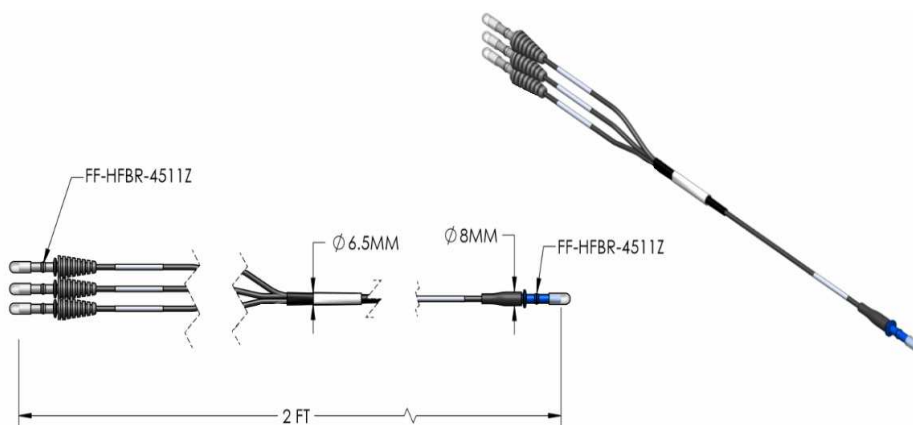


Рис. 4. Оптический сплиттер

Для соединения симплексных коннекторов между собой (POF) используются соответствующие оптические проходные адаптеры (соединительные розетки) линейки Versatile Link (VL). Данные адаптеры, выпускаемые компанией Broadcom (Avago). Для организации сети выбран адаптер «HFBR-4515Z». Типовое значение потерь адаптера, в совокупности с подключенными к нему коннекторами составляет 1,5 дБ.

Схема соединения коннекторов с проходным адаптером, представленная в документации [6], изображена на рисунке 5.

На рисунке 6 представлен вид выбранных компонентов.

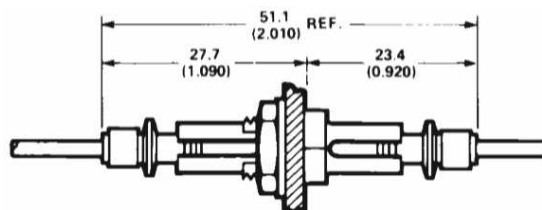


Рис. 5. Схема соединения коннектора с адаптером

Используемые компоненты оптической сети для роf волокна VL-типа			
			
AFBR-1529Z	AFBR-2529Z	HFBR-4515Z	HFBR-4511Z
Передающий модуль	Приемный модуль	Соединительный адаптер	Коннектор

Рис. 6. Компоненты оптической сети

Энергетический расчет линии связи

Целью энергетического расчета линий связи является расчет мощности излучения для линий на основе волоконно-оптического кабеля на приемной стороне и проверка условия превышения ими минимально допустимого значения.

Энергетический расчет линий связи на основе волоконно-оптического кабеля в общем виде выполняется по следующему выражению:

$$P_R = P_T - L_{\text{каб}} \cdot IL_{\text{каб}} - n_{\text{кон}} \cdot IL_{\text{кон}} - n_{\text{адап}} \cdot IL_{\text{адап}} - n_{\text{спл}} \cdot IL_{\text{спл}}, \text{ дБм}, \quad (1)$$

где $P_T = -2$ – типовое значение оптической мощности на выходе передатчика (дБ);

P_R – значение оптической мощности на входе приемника (дБ);

$IL_{\text{каб}} = 0,17$ – погонные вносимые потери кабеля (дБ/м);

$L_{\text{каб}} = 20$ – длина кабеля (м);

$n_{\text{адап}}, n_{\text{кон}}, n_{\text{спл}}$ – общее число соединительных адаптеров, коннекторов, сплиттеров;

$IL_{\text{адап}} = 1,5$, $IL_{\text{кон}} = 0,5$, $IL_{\text{спл}} = 8,2$ – потери (дБ), вносимые адаптером, коннектором и сплиттером соответственно.

В разрабатываемой промышленной сети оптоволоконные линии передачи и приема можно условно разделить на два участка. Первый участок – это общая оптическая линия, располагающаяся от ведущего устройства до сплиттера. Мощность общей линии делится при помощи сплиттера на три равные части. Затем каждая оптическая линия тянется к конкретному подчиненному узлу. Следовательно, второй участок располагается от сплиттера до приемников ведомых устройств.

Так как устройства находятся на различных расстояниях, энергетический расчет целесообразно выполнить для наихудшего случая – для самого дальнего устройства. В соответствии с исходными данными, длина самой длинной линии равна 20 м. Также на данном участке $n_{\text{кон}} = 2$, $n_{\text{адап}} = 2$, $n_{\text{спл}} = 1$.

$P_N = -22$ дБ – минимальная оптическая мощность на входе приемника (чувствительность)

$$P_R = -2 - 0,17 \cdot 20 - 1,5 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2 - 8,2 = -17,6, \text{ дБм}. \quad (2)$$

На основании расчетов, $P_R > -22$ дБм, следовательно, выбранные компоненты удовлетворяют условиям.

Сравнение с известными решениями

Самым распространенным интерфейсом, используемым в промышленных сетях, является RS-485. Это стандарт физического уровня для асинхронного интерфейса. Он регламентирует электрические параметры полудуплексной дифференциальной линии связи. На основе RS-485 строится множество известных протоколов передачи, например, FLOWBUS, Modbus, Profibus DP, которые описывают способы кодирования и передачи, уровень доступа к каналу, типы соединителей и кабелей. Узлы подключаются к кабелям сети с помощью шинных штекеров, шинных терминалов или повторителей RS-485 и разветвителей. Перечисленные стандарты вполне позволяют организовать множественный доступ с архитектурой ведущий-ведомый, применимо к решаемой задаче, однако ни один стандарт на основе RS-485, и других интерфейсов, использующих в качестве среды медный кабель, не обеспечивает помехоустойчивое соединение и не поддерживает качественную передачу с требуемой скоростью на большом расстоянии.

Заключение

В данной статье на примере решаемых задач конкретной промышленной сети были разработаны основные моменты в организации физического уровня. Было принято оптимальное решение в выборе

физической среды передачи и топологии сети, был определен минимальный кадр передачи данных, выбраны компоненты для организации сети, описаны их характеристики и схемы соединения. Также проведен энергетический расчет, результат которого удовлетворяет требованиям передачи данных и говорит о пригодности использования выбранной топологии и компонентов сети. Таким образом, можно сделать вывод о том, что данное техническое решение удовлетворяет поставленным требованиям.

Список литературы

1. Аристова Н.И. И снова о промышленных сетях // Автоматизация в промышленности. 2012. №12. С. 7-11.
2. Титаев А.А. Промышленные сети: учеб. пособие; Министерство науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. – 124 с.
3. AFBR-2644Z Datasheet/Broadcom (Avago). URL: https://infiber.ru/assets/files/products/active_components/VL_receivers/AFBR-2644Z_Data_Sheet.pdf.
4. GH4001 Specification sheet/Mitsubishi Chemical. URL: https://infiber.ru/assets/files/products/soedinitelnye_izdeliya/cables/gh4001.pdf.
5. IF 543 Couplers (Splitters) Datasheet/Industrial Fiber Optics». URL: <https://infiberoptics.com/pdf/coupsplitr.pdf>.
6. Plastic Optical Fiber Cable and Accessories for Versatile Link Datasheet/Broadcom (Avago). URL: https://infiber.ru/assets/files/products/soedinitelnye_izdeliya/connectors/HFBR-RXXYYYYZ-EXXYYYYZ_Data_Sheet.pdf.

Сведения об авторе:

Заховаев Максим Игоревич – магистрант.

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

<http://srcms.ru/>

E-mail: info@srcms.ru

