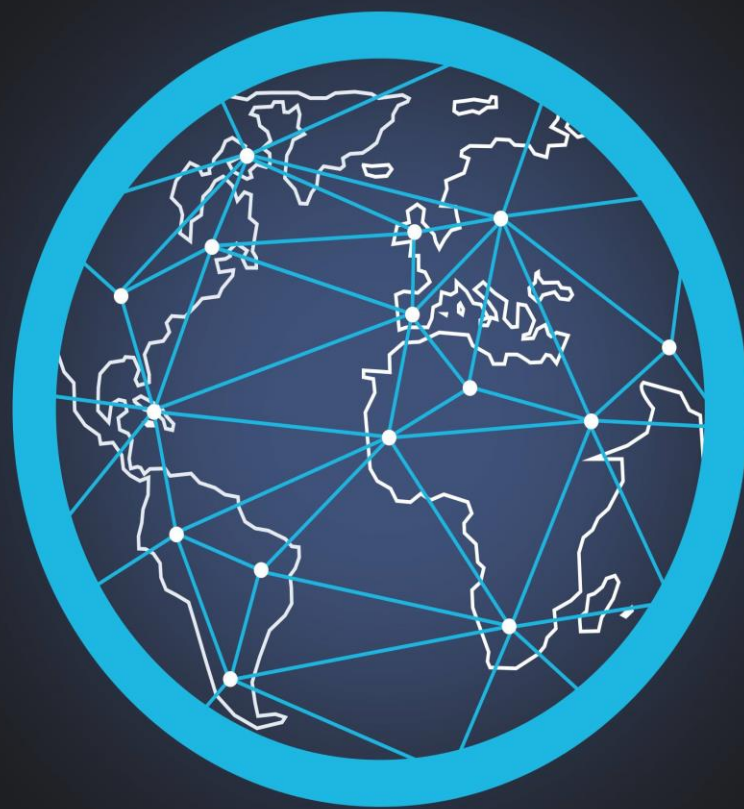


Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности |



Том 8 Номер 11 (37)



2023



СОДЕРЖАНИЕ / CONTENT

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1. **Тикки Д.А., Никольский В.Е., Авакян Е.В., Самошкин Н.С., Мокряк А.В.** 5
Инструменты прототипирования пользовательского интерфейса
Tikki D.A., Nikolsky V.E., Avakyan E.V., Samoshkin N.S., Mokryak A.V.
User interface prototyping tools
2. **Свешников И.В., Малахов С.В., Якупов Д.О.** Модель данных полезной 10
нагрузки в ЛВС
Sveshnikov I.V., Malakhov S.V., Yakupov D.O. Payload data model in LAN
3. **Лыкасов Н.С., Сафиуллин Р.А.** Разработка мероприятий по модернизации 16
электрооборудования кран-балки с дистанционным управлением
Lykasov N.S., Safiullin R.A. Development of measures to modernize the electrical
equipment of the crane-beam with remote control
4. **Маренкова А.В.** Решение задачи прогнозирования развития транспорта с 21
использованием нечеткой логики
Marenkova A.V. Solving the problem of forecasting the development of transport
using fuzzy logic
5. **Чечуров Н.Э.** Использование волоконно-оптических линий связи 26
Chechurov N.E. Use of fiber-optic communication lines
6. **Мустафин Р.М., Попов А.И., Брагин Д.М.** Численное исследование 32
аэродинамических свойств трижды периодической минимальной поверхности
Неовиуса
Mustafin R.M., Popov A.I., Bragin D.M. About one multi-factor clustering objects
method

ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

7. **Байбак Н.А., Бедесов Д.А., Гульков А.Н., Минакова П.С.** Обзор популярных 40
методов увеличения нефтеотдачи
Baibak N.A., Bedesov D.A., Gulkov A.N., Minakova P.S. Effective methods of
enhanced oil recovery
8. **Бобриков А.И., Макавчик И.А., Гулькова С.Г., Минакова П.С.** Перспективы 46
и технологические особенности добычи метана угольных пластов
Bobrikov A.I., Makavchik I.A., Gulkova S.G., Minakova P.S. The prospects and
technological features of coalbed methane production

9.	Иващенко В.Е., Иващенко В.А., Куличков С.В., Минакова П.С. Применимость микроволнового воздействия в операциях слива высоковязких нефтепродуктов	51
	Ivashchenko V.E., Ivashchenko V.A., Kulichkov S.V., Minakova P.S. Practical application of microwave effect in unloading operations of highly viscous oil products	
10.	Малыш М.А., Алексеенко Н.В., Слесаренко В.В., Минакова П.С. Практическое применение парогазовых установок в качестве способа утилизации тепла газотурбинных установок на компрессорных станциях	56
	Malysh M.A., Alekseenko N.V., Slesarenko V.V., Minakova P.S. Applicative usage of combined cycle gas turbines as a disposal method of gas turbine heat at gas-compressor stations	
11.	Платонов В.И., Че В.С., Гульков А.Н., Минакова П.С. Развитие российских технологий крупнотоннажного производства сжиженного природного газа	62
	Platonov V.I., Che V.S., Gulkov A.N., Minakova P.S. The expansion of russian technologies for liquefied natural gas large tonnage production	
12.	Байбак Н.А., Бедесов Д.А., Гульков А.Н., Минакова П.С. Проблема газификации отдаленных регионов и метод её решения путем применения компримированного природного газа	67
	Vaibak N.A., Bedesov D.A., Gulkov A.N., Minakova P.S. The problem of remote regions gasification and the method of its solution by the use of compressed natural gas	
13.	Макавчик И.А., Бобриков А.И., Слесаренко В.В., Минакова П.С. Практическое применение установки рекуперации паров в комбинации с трехпоточной вихревой трубой на АЗС	72
	Makavchik I.A., Bobrikov A.I., Slesarenko V.V., Minakova P.S. Practical application of a vapor recovery unit in combination with a three-flow vortex tube at filling stations	
14.	Иващенко В.Е., Иващенко В.А., Гулькова С.Г., Минакова П.С. Малотоннажное производство сжиженного природного газа на базе попутных нефтяных газов месторождений	78
	Ivashchenko V.E., Ivashchenko V.A., Gulkova S.G., Minakova P.S. Low-tonnage production of liquefied natural gas based on associated petroleum gas fields	
15.	Малыш М.А., Алексеенко Н.В., Слесаренко В.В., Минакова П.С. Оптимизация системы охлаждения электропривода магистрального насоса	82
	Malysh M.A., Alekseenko N.V., Slesarenko V.V., Minakova P.S. Improvement of the electric drive cooling system in the main line pump	
16.	Платонов В.И., Че В.С., Гульков А.Н., Минакова П.С. Повышение нефтеотдачи истощенных месторождений посредством закачки диоксида углерода	86
	Platonov V.I., Che V.S., Gulkov A.N., Minakova P.S. Enhanced oil recovery of depleted fields by injection of carbon dioxide	

17.	Дуйцев А.Н. Перспективы реконструкции и модернизации производственных активов теплогенерации РФ	90
	Duitsev A.N. Prospects for reconstruction and modernization of production assets of heat generation of the Russian Federation	
18.	Шинкарев В.В., Юлусов К.С., Полуэктов Е.К., Манихин А.П. Современные электрохимические накопители электроэнергии	96
	Shinkarev V.V., Yunusov K.S., Poluektov E.K., Manikhin A.P. Modern electrochemical power storage devices	



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.5

ИНСТРУМЕНТЫ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Тикки Д.А., Никольский В.Е., Авакян Е.В., Самошкин Н.С., ¹Мокряк А.В.

ФГБОУ ВО "РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ" Санкт-Петербург, Россия (192007, город Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79)

¹ФГБОУ ВО "САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ ИМЕНИ ГЕРОЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГЕНЕРАЛА АРМИИ Е.Н.ЗИНИЧЕВА", Санкт-Петербург, Россия (196105, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д.149), e-mail: mokryakanna@mail.ru

Инструменты прототипирования пользовательского интерфейса играют важную роль в процессе разработки приложений и веб-сайтов. Они позволяют команде проекта создавать прототипы интерфейса, которые могут быть протестированы и оценены пользователями или заинтересованными сторонами перед фактической разработкой. Цель данной статьи заключается в рассмотрении важной темы инструментов прототипирования пользовательского интерфейса. Будет подробно рассмотрено их значение в процессе разработки приложений и веб-сайтов, выявлены ключевые преимущества и недостатки, а также предоставлен обзор популярных инструментов и основных принципов прототипирования.

Ключевые слова: Инструменты прототипирования, пользовательский интерфейс, процесс разработки.

USER INTERFACE PROTOTYPING TOOLS

Tikki D.A., Nikolsky V.E., Avakyan E.V., Samoshkin N.S., ¹Mokryak A.V.

RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY, St. Petersburg, Russia (192007, St. Petersburg, Voronezhskaya str., 79)

¹ST. PETERSBURG UNIVERSITY OF THE STATE FIRE SERVICE OF THE MINISTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR CIVIL DEFENSE, EMERGENCIES AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS NAMED AFTER THE HERO OF THE RUSSIAN FEDERATION, GENERAL OF THE ARMY E.N. ZINICHEV, St. Petersburg, Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky prospekt, 149), e-mail: ¹mokryakanna@mail.ru

UI prototyping tools play an important role in the app and website development process. They allow the project team to create interface prototypes that can be tested and evaluated by users or stakeholders before actual development. The purpose of this article is to address the important topic of UI prototyping tools. Their importance in the app and website development process will be discussed in detail, key advantages and disadvantages will be identified, and an overview of popular prototyping tools and basic principles will be provided.

Keywords: Prototyping tools, user interface, development process.

Введение

В современном мире разработки пользовательского интерфейса информационные технологии занимают центральное место, и несомненно, они имеют большое влияние на качество и функциональность приложений и веб-сайтов. Процесс создания интерфейса, который будет не только привлекать внимание, но и обеспечивать удобство использования, требует систематического и тщательного подхода. Инструменты прототипирования пользовательского интерфейса играют ключевую роль в достижении этой цели, предоставляя дизайнерам и разработчикам эффективные средства для создания и оптимизации интерфейсов.

Прототипирование пользовательского интерфейса – это процесс, который позволяет создавать первоначальные модели интерфейса приложения или веб-сайта перед тем, как начинать активное программирование. Эти модели, или прототипы, служат важным инструментом для анализа, тестирования и согласования концепций интерфейса, прежде чем они станут частью конечного продукта. На первый взгляд, создание прототипов может показаться время затратным этапом, но это вложение времени и усилий окупается путем сокращения числа ошибок и улучшения удовлетворенности пользователей [1].

В данной статье будет рассмотрена важность инструментов прототипирования пользовательского интерфейса и рассмотрим несколько из них, которые помогают дизайнерам и разработчикам создавать прототипы интерфейсов, что в свою очередь способствует развитию качественных и востребованных продуктов. Начнем с основных принципов прототипирования и перейдем к обзору популярных инструментов, которые делают этот процесс более эффективным и доступным.

Методика исследования

Инструменты прототипирования пользовательского интерфейса имеют огромное значение в процессе разработки и дизайна приложений, веб-сайтов и программного обеспечения. Они предоставляют следующие преимущества:

- Визуализация и концептуализация;
- Итеративный процесс;
- Тестирование и оптимизация;
- Снижение рисков и затрат;
- Согласование и коммуникация;
- Создание привлекательного пользовательского опыта;
- Ускорение разработки.

В итоге, инструменты прототипирования пользовательского интерфейса становятся незаменимой частью процесса разработки, способствуя улучшению качества продуктов, сокращению затрат и ускорению времени до релиза. Они помогают создавать интерфейсы, которые находят отклик у пользователей и приносят реальную ценность бизнесу.

Принципы прототипирования пользовательского интерфейса служат ориентиром при создании и использовании прототипов. Они помогают обеспечить эффективное и целенаправленное применение этого инструмента в процессе разработки [1]. Вот основные принципы прототипирования:

1. Цель и аудитория. Определить, какая цель у прототипа, и кто будет его аудиторией. Это поможет сосредоточить усилия на создании релевантных и полезных прототипов.
2. Простота и скорость: Прототипы должны быть быстрыми и легкими в создании. Их цель – демонстрировать ключевые функции и концепции, а не воссоздавать полный функциональный продукт.
3. Итеративность. Прототипирование – это процесс, а не одноразовое мероприятие. Необходимо использовать итерации для улучшения и совершенствования прототипов на основе обратной связи и новых идей.
4. Участие заинтересованных сторон. Нужно вовлекать клиентов, пользователей и других заинтересованных сторон в процесс создания и оценки прототипов. Их мнение и обратная связь ценны для улучшения дизайна [2].
5. Имитация функциональности. Прототипы должны имитировать ключевые функциональные элементы продукта, чтобы пользователи могли взаимодействовать с интерфейсом и оценить его удобство.
6. Документирование и комментарии. Прототипы должны поддерживаться документацией и комментариями, чтобы облегчить понимание и последующее внесение изменений.
7. Тестирование и обратная связь. Тестирование прототипов с реальными пользователями. Это поможет выявить проблемы и улучшить интерфейс.
8. Интеграция в процесс разработки. Прототипирование должно быть интегрировано в общий процесс разработки. Прототипы могут служить основой для дальнейшей разработки, а не просто теоретическими моделями.

Соблюдение этих принципов поможет максимально эффективно использовать прототипы в процессе дизайна и разработки пользовательского интерфейса, а также обеспечить качество и удовлетворенность пользователей в конечном продукте [3, 4].

Рассмотрим преимущества и недостатки инструментов прототипирования:

Преимущества:

1. Улучшение коммуникации;
2. Итеративность;
3. Тестирование и обратная связь;
4. Снижение рисков и затрат;
5. Участие заинтересованных сторон;
6. Фокус на пользовательском опыте.

Недостатки:

1. Ограниченная функциональность;
2. Дополнительное время и ресурсы;
3. Нередко не репрезентативны;
4. Сложность для некоторых участников;
5. Требование совместной работы и согласования в команде.

Также ниже представлены примеры программ для создания прототипов:

1. Sketch:
 - Платформа: macOS.

- Особенности. Sketch - это графический редактор, созданный специально для дизайнеров интерфейсов. Он предоставляет множество инструментов для создания векторных макетов и интерактивных прототипов. Множество плагинов позволяет расширить его функциональность.
 - Преимущества. Прост в использовании, отлично подходит для создания макетов и иконок.
2. Adobe XD:
- Платформы. Windows, macOS.
 - Особенности. Adobe XD - мощный инструмент для дизайна и прототипирования интерфейсов. Он позволяет создавать интерактивные прототипы с возможностью анимации и совместной работы в реальном времени.
 - Преимущества. Интегрирован с другими продуктами Adobe, поддерживает дизайн системы и прост в освоении [5].
3. Figma:
- Платформы. Веб-приложение.
 - Особенности. Figma - это коллаборативный инструмент, который позволяет дизайнерам и разработчикам создавать и редактировать дизайны и прототипы в реальном времени. Поддерживает совместную работу в команде и имеет богатые возможности для создания интерактивных прототипов.
 - Преимущества. Легкий доступ в веб-браузере, многофункциональный и хорош для командной работы [6].

Вывод

В заключение необходимо отметить, инструменты прототипирования пользовательского интерфейса являются важным компонентом успешного процесса разработки приложений, веб-сайтов и программного обеспечения. Они обеспечивают визуализацию, тестирование, согласование и оптимизацию дизайна, снижение рисков и затрат, а также улучшение коммуникации и сотрудничества в команде. Прототипы позволяют итеративно совершенствовать продукт, фокусируясь на создании удовлетворяющего пользовательского опыта. В конечном итоге, инструменты прототипирования способствуют ускорению разработки и созданию более качественных продуктов, приносящих реальную ценность бизнесу и пользователям.

Список литературы

1. 14 инструментов прототипирования для UI/UX-дизайнеров. Электронный ресурс – Режим доступа: <https://www.uprock.ru/articles/14-instrumentov-prototipirovaniya-dlya-ui-ux-dizaynerov> (дата обращения 27.10.2023)
2. Что такое Прототипирование? Электронный ресурс – Режим доступа: <https://www.uprock.ru/articles/chto-takoe-prototipirovanie> (Дата обращения 28.10.2023)
3. Прототипирование. Электронный ресурс – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5> (Дата обращения 29.10.2023)

4. Преимущества и недостатки прототипирования. Электронный ресурс – Режим доступа: <https://polator.ru/preimushhestva-i-nedostatki-prototipirovaniya/> (дата обращения 29.10.2023)
5. Айзенберг С.А., Сафонова Т.В. Мультиагентные системы в симуляции трафика Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. 2022. №2(42). С.78-83.
6. Как создать прототип сайта? Типы и методы разработки. 8 инструментов прототипирования (онлайн и оффлайн). Электронный ресурс – Режим доступа: <https://seoforge.ru/website/prototipirovanie-sajta> (Дата обращения 30.10.2023)

References

1. 14 prototyping tools for UI/UX designers. Electronic resource – Access mode: <https://www.uprock.ru/articles/14-instrumentov-prototipirovaniya-dlya-ui-ux-dizaynerov> (accessed 27.10.2023)
 2. What is Prototyping? Electronic resource – Access mode: <https://www.uprock.ru/articles/chto-takoe-prototipirovanie> (Accessed 28.10.2023)
 3. Prototyping. Electronic resource – Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%BF%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5> (Accessed 29.10.2023)
 4. Advantages and disadvantages of prototyping. Electronic resource – Access mode: <https://polator.ru/preimushhestva-i-nedostatki-prototipirovaniya/> (accessed 29.10.2023)
 5. Aizenberg S.A., Safonova T.V. Multi-agent systems in traffic simulation Information technologies and systems: management, economics, transport, law. 2022. No.2(42). pp.78-83.
 6. How to create a prototype of a website? Types and methods of development. 8 prototyping tools (online and offline). Electronic resource – Access mode: <https://seoforge.ru/website/prototipirovanie-sajta> (Accessed 30.10.2023)
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.6

МОДЕЛЬ ДАННЫХ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ В ЛВС

¹*Свешников И.В., Малахов С.В., Якупов Д.О.*

ФГБОУ ВО "ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ", Самара, Россия (443010, Самарская область, город Самара, ул. Льва Толстого, д.23), e-mail:¹*ivan.sveshnikov.777@mail.ru*

С развитием информационных технологий и компьютеризации организаций, локальные вычислительные сети (ЛВС) стали незаменимой частью современного бизнеса и обмена информацией. Важность ЛВС в повседневной деятельности организаций становится все более явной, и, следовательно, вопросы их эффективной организации и управления приобретают первостепенное значение.

Сегодня происходит столкновение с огромными объемами данных, которые поступают в ЛВС, и с растущими требованиями к их обработке, безопасности и оптимизации. Именно здесь вступает в силу тема данного доклада – "Модель данных полезной нагрузки в ЛВС". Актуальность этой темы заключается в необходимости понимания, каким образом данные управляются внутри сети, как обеспечивается их безопасность и целостность, и как модель данных полезной нагрузки способствует оптимизации сетевого трафика и управлению качеством обслуживания.

В наше время, когда обмен информацией и доступ к данным стали неотъемлемой частью бизнес-процессов, понимание модели данных полезной нагрузки в ЛВС становится критически важным для обеспечения эффективной работы организаций и защиты ее информации. В данной работе частично рассмотрим мир сетевых технологий и моделирования данных, чтобы более полно понять эту ключевую составляющую современных ЛВС.

Ключевые слова: локальные вычислительные сети, обмен данными, MAC-адреса, серверы, нагрузки, скорость.

PAYLOAD DATA MODEL IN LAN

¹*Sveshnikov I.V., Malakhov S.V., Yakupov D.O.*

VOLGA REGION STATE UNIVERSITY OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATICS, Samara, Russia (443010, Samara Region, Samara, Leo Tolstoy St., 23), e-mail:¹*ivan.sveshnikov.777@mail.ru*

With the development of information technology and computerization of organizations, local area networks (LAN) have become an indispensable part of modern business and information exchange. The importance of LAN in the daily activities of organizations is becoming more and more obvious, and, consequently, the issues of their effective organization and management are of paramount importance.

Today, there is a collision with the huge volumes of data that enter the LAN, and with the growing requirements for their processing, security and optimization. This is where the topic of this report comes into force – "Payload data Model in LAN". The relevance of this topic lies in the need to understand how data is managed within the network, how their security and integrity are ensured, and how the payload data model contributes to network traffic optimization and quality of service management.

Nowadays, when information exchange and data access have become an integral part of business processes, understanding the payload data model in a LAN becomes critical to ensure the effective operation of

organizations and the protection of its information. In this paper, we will partially consider the world of network technologies and data modeling in order to better understand this key component of modern LAN.

Keywords: Local area networks, data exchange, MAC addresses, servers, loads, speed.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) представляет собой сеть, охватывающую ограниченную территорию, такую как офис, предприятие, школа или дом. ЛВС объединяет компьютеры, серверы, принтеры и другие устройства, позволяя им обмениваться данными и ресурсами (Рисунок 1).

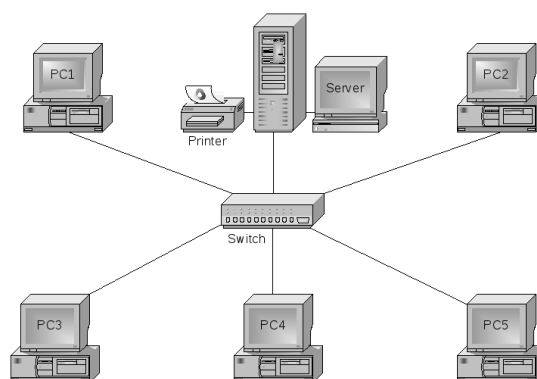


Рисунок 1 – Пример ЛВС

Основными характеристиками ЛВС являются локальность и высокая скорость передачи данных внутри сети.

ЛВС выполняют ряд важных задач и имеют разнообразные области применения:

- обеспечение связности;
- обмен данными;
- обеспечение доступа к ресурсам;
- централизованное управление.

ЛВС являются фундаментом современной организации информационных систем и играют решающую роль в обеспечении эффективного обмена данными и ресурсами внутри сети.

ЛВС характеризуются рядом особенностей, включая:

- ограниченная территория - ЛВС охватывают ограниченное пространство, как правило, в пределах здания или офиса, что обеспечивает высокую скорость передачи данных внутри сети;
- высокая скорость - ЛВС обеспечивают быструю передачу данных между устройствами, что важно для оперативного обмена информацией.

Топология ЛВС определяет, как физически связаны и устроены устройства внутри сети. Основные типы топологии включают звездную, кольцевую, шинную, древовидную и смешанную структуру. Соответственно, используя различные типы устройств и оборудования объединенных вместе будет построена одна из топологии ЛВС. При этом для работы ЛВС используются протоколы, которые играют ключевую роль в обеспечении коммуникации – Ethernet, TCP/IP, DNS и другие.

Модель данных полезной нагрузки представляет собой ключевой аспект локальных вычислительных сетей (ЛВС), определяющий, как данные организованы и передаются внутри сети. Эта модель включает в себя следующие элементы:

1. заголовок кадра/пакета (Рисунок 2):

- заголовок содержит информацию, необходимую для передачи данных по сети;
- включает в себя MAC-адреса отправителя и получателя, что позволяет определить, куда направить данные;
- в заголовке могут также быть контрольные суммы, флаги, приоритеты данных и другая метаданные, определяющие обработку данных в сети.

4 бита Номер версии	4 бита Длина заголовка	8 бит Тип сервиса	16 бит Общая длина	
16 бит Идентификатор пакета			3 бита Флаги	13 бит Смещение фрагмента
8 бит Время жизни	8 бит Тип протокола		16 бит Контрольная сумма	
32 бита IP-адрес отправителя				
32 бита IP-адрес получателя				
Опции и выравнивание (не обязательно)				

Рисунок 2 – Заголовок IP-пакета

2. данные полезной нагрузки:

- данные полезной нагрузки представляют собой сами данные, которые передаются между устройствами;
- это может быть текст, аудио, видео, файлы, команды и многое другое, в зависимости от приложения и протокола;
- данные полезной нагрузки несут информацию, которую пользователи сети хотят обменивать.
- Роль модели данных полезной нагрузки в ЛВС:
- маршрутизация - заголовок пакета указывает, как передать данные по сети, обеспечивая доставку от отправителя к получателю;
- обнаружение ошибок - заголовок может содержать контрольные суммы для обнаружения и, в некоторых случаях, исправления ошибок в данных;
- контроль качества обслуживания (QoS) - информация в заголовке позволяет определить приоритеты данных для обеспечения оптимальной производительности сети;
- поддержка разных приложений - модель данных поддерживает разнообразные типы данных, что позволяет ЛВС поддерживать разные приложения;
- безопасность и конфиденциальность - заголовок может содержать информацию о шифровании и безопасности, что важно для защиты данных.

Понимание этой модели позволяет администраторам сети и инженерам эффективно управлять и оптимизировать сеть, обеспечивая бесперебойную передачу данных и безопасность информации.

Для лучшего понимания модели данных полезной нагрузки в локальных вычислительных сетях (ЛВС) можно составить структурированную таблицу, описывающую её основные компоненты. В таблице будут перечислены ключевые аспекты заголовка пакета и данных полезной нагрузки:

Таблица 1 – Ключевые аспекты заголовка пакета и данных полезной нагрузки

Компонент	Описание
Заголовок пакета	
MAC-адрес отправителя	Уникальный физический адрес сетевого интерфейса отправителя, используемый для идентификации отправителя в сети.
MAC-адрес получателя	Уникальный физический адрес сетевого интерфейса получателя, указывающий, куда должны быть направлены данные.
Контрольные суммы	Данные, добавленные в заголовок для обнаружения и, в некоторых случаях, исправления ошибок в передаче данных.
Флаги и опции	Дополнительные параметры и флаги, которые определяют различные атрибуты передачи данных, такие как приоритет, обработка и другие параметры.
Данные полезной нагрузки	
Тип данных	Определяет формат и характер данных, которые содержатся в пакете. Примеры включают текст, аудио, видео, файлы и команды.
Размер данных	Количество байтов или битов, занимаемых данными полезной нагрузки. Это важно для оценки используемой пропускной способности и общей загрузки сети.
Шифрование и безопасность	Информация о методах шифрования и защите данных

Рассмотрим пример модели данных полезной нагрузки в ЛВС с использованием протокола Ethernet, который является одним из наиболее распространенных протоколов в ЛВС.

Предположим, что компьютер "Компьютер А" (Sender) хочет отправить файл другому компьютеру "Компьютер Б" (Receiver) в одной ЛВС. Вот как это выглядит в модели данных полезной нагрузки:

1. Заголовок кадра Ethernet:
 - MAC-адрес отправителя (Sender): 00:1A:2B:3C:4D:5E;
 - MAC-адрес получателя (Receiver): 08:76:5F:4E:3D:2C;
 - Контрольные суммы и другие параметры заголовка.
2. Данные полезной нагрузки:
 - Тип данных: Файл "example.pdf";
 - Размер данных: 2 мегабайта (MB).

Компьютер "Компьютер А" упаковывает файл "example.pdf" в модель данных полезной нагрузки. Затем эта полезная нагрузка помещается в заголовок кадра Ethernet, который содержит MAC-адрес отправителя (Sender) и MAC-адрес получателя (Receiver). Когда "Компьютер А" отправляет пакет, заголовок и данные полезной нагрузки передаются по сети к "Компьютеру Б". "Компьютер Б" использует MAC-адрес в заголовке, чтобы определить, что данный пакет предназначен именно для него.

Модель данных полезной нагрузки в этом примере представлена в виде файла "example.pdf", который является частью данных, а также заголовка кадра Ethernet, который содержит адреса отправителя и получателя. Эти компоненты работают вместе, чтобы обеспечить передачу файла от "Компьютера А" к "Компьютеру Б" внутри ЛВС.

В контексте примера полезная нагрузка представляет собой данные или информацию, которую компьютер "Компьютер А" (Sender) хочет передать компьютеру "Компьютер Б" (Receiver). В данном случае полезная нагрузка — это файл "example.pdf" размером 2 мегабайта (МВ).

Полезная нагрузка является той частью передаваемой информации, которая содержит реальные данные или контент, который интересует отправителя и получателя. В контексте сетей и передачи данных, полезная нагрузка — это информация, которую пользователи сети отправляют и принимают: текст, файлы, аудио, видео, команды и т. д. Эти данные составляют суть коммуникации в сети.

Заголовок кадра Ethernet и другие служебные информации (например, MAC-адреса отправителя и получателя) не являются частью полезной нагрузки. Они используются для маршрутизации и обработки данных в сети, но сами по себе не несут информацию, интересующую пользователя. Полезная нагрузка — это именно та информация, которая представляет ценность для отправителя и получателя, именно она составляет содержание передаваемых данных.

Список литературы

1. Воротягин, С.Н. Анализ нагрузки и классификация приложений в локальных вычислительных сетях / С.Н. Воротягин // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2002. – С. 52–56;
2. Ikasteko [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ikasteko.ru/page/etalonnaja-model-osi>. – Дата доступа: 29.10.2023;
3. KazEdu [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kazedu.com/referat/24580/6>. – Дата доступа: 29.10.2023.
4. Дибров, М. В. Компьютерные сети и телекоммуникации. Маршрутизация в ip-сетях в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для СПО / М. В. Дибров. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 333 с.
5. Дибров, М. В. Сети и телекоммуникации. Маршрутизация в ip-сетях в 2 ч. Часть 1 : учебник и практикум для академического бакалавриата/М.В.Дибров. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 333 с.

6. Замятина О.М. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Моделирование сетей: учеб. пособие для магистратуры/О.М.Замятина. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 159 с.

References

1. Vorotyagin, S.N. Load analysis and classification of applications in local area networks / S.N. Vorotyagin // Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics. - 2002. – pp. 52-56;
 2. ikasteko [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.ikasteko.ru/page/etalonnaja-model-osi> . – Access date: 29.10.2023;
 3. KazEdu [Electronic resource]. – Access mode: <https://kazedu.com/referat/24580/6> . – Access date: 29.10.2023.
 4. Dibrov, M. V. Computer networks and telecommunications. Routing in IP networks in 2 hours. Part 1 : textbook and workshop for SPO / M. V. Dibrov. — М.: Yurayt Publishing House, 2019. — 333 p
 5. Dibrov, M. V. Networks and Telecommunications. Routing in IP networks in 2 hours. Part 1 : textbook and workshop for academic undergraduate / M. V. Dibrov. — М. : Yurayt Publishing House, 2018. — p.333
 6. Zamyatina, O. M. Computing systems, networks and telecommunications. Network modeling : studies. handbook for magistracy / O. M. Zamyatina. — М. : Yurayt Publishing House, 2017. — p.159
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.35

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ КРАН-БАЛКИ С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

¹Лыкасов Н.С., Сафиуллин Р.А.

ФГБОУ ВО "УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ" (НЕФТЕКАМСКИЙ ФИЛИАЛ), Нефтекамск, Россия (452681, Республика Башкортостан, г. Нефтекамск, ул. Тракторная, д. 1), e-mail: ¹lykasov.nik@mail.ru

В данной статье разработаны мероприятия по модернизации электрооборудования кран-балки с дистанционным управлением, с целью повышения эффективности и безопасности. Рассматривается установка блока радиуправления - кнопочное радиуправление TELECRANE F24-6D (пульт 6 кн. 2 скорости, питание 220/380 В) 00005569, Целью разработки является: безопасность разгрузки материала.2) Удобство и быстрота. 3) Обеспечение простоты контроля над механизмом кран-балки, обеспечение достаточного обзора рабочего пространства и в то же время безопасность оператора 4) оптимизация рабочего процесса.5) сокращение холостых проходов крана. 6) Повысить точность при перемещении и транспортировании груза.

Ключевые слова: Эффективность, безопасность, устройства ввода-вывода.

DEVELOPMENT OF MEASURES TO MODERNIZE THE ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE CRANE-BEAM WITH REMOTE CONTROL

¹Lykasov N.S., Safiullin R.A.

UFA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY (NEFTEKAMSK BRANCH), Neftekamsk, Russia (452681, Republic of Bashkortostan, Neftekamsk, Traktovaya str., 1), e-mail: ¹lykasov.nik@mail.ru

In this article, measures have been developed to modernize the electrical equipment of the crane-beam with remote control, in order to increase efficiency and safety. The installation of the radio control unit is considered - push-button radio control TELECRANE F24-6D (remote control 6 kn. 2 speeds, 220/380 V power supply) 00005569, The purpose of the development is: safety of unloading material. 2) Convenience and speed. 3) Ensuring ease of control over the crane-beam mechanism, ensuring sufficient visibility of the workspace and at the same time operator safety. 4) optimization of the workflow.5) reduction of idle passages of the crane. 6) Improve accuracy when moving and transporting cargo

Keywords: Efficiency, safety, I/O devices.

Радиоприемник.

Приемник устанавливается в непосредственной близости от крана или на самом кране. С целью обеспечения безопасности работы [2] и во избежание радиопомех при работе дистанционного управления применяется отдельный набор радиочастот. Опционально,

модуль радиуправления можно снабдить обеспечением для ограничения зон работы крана и предотвращения попадания грузоподъемного оборудования в опасную зону. Пульт управления. Радиус действия радиосигнала пульта в среднем составляет от 40 до 100 метров. Для удобства пульт радиуправления можно крепить стационарно или на поясе/шее у оператора крана. Как и для радиуправления, так и для управления с пола применяются кнопочные, джойстиковые пульта. Простые кнопочные пульта имеют одну или две скорости. Более функциональные имеют до 5 скоростей и рычажные элементы управления с большим набором функций для управления краном.

Здесь не нужно опасаться по поводу радиочастот, - они подобраны так, чтобы не создавать никаких помех другому оборудованию, система управления краном имеет собственный частотный диапазон с кодированием, например для TELECRANE он приходится на 415 ~ 483MHz. Питается пульт от батареек или от аккумуляторов.

Рассмотрим выбранный радиоприемник (Рисунок 1).



Рисунок 1 – TELECRANE F24-6D (пульт 6 кн. 2 скорости, питание 220/380 В) 00005569

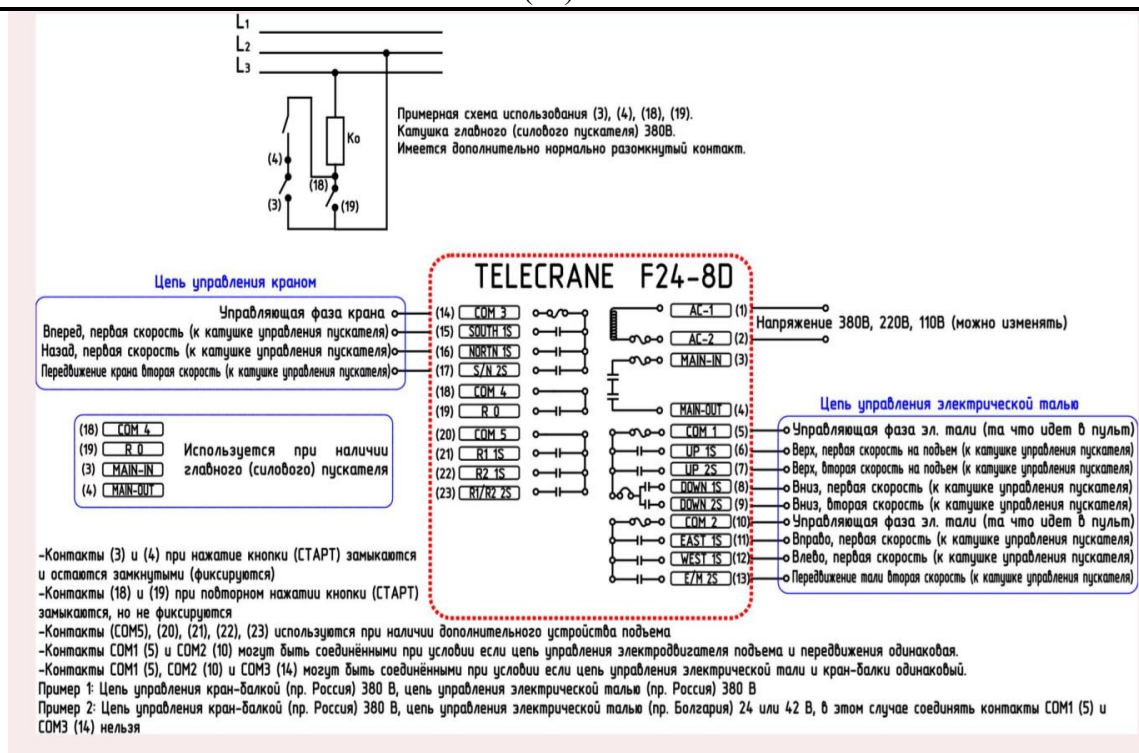


Рисунок 2 – Схема подключения радиоприемника

1. Установка радиоприемника осуществляется после выполнения следующих мероприятий [1] - Анализ технической документации грузоподъемного оборудования кран-балки, технических составляющих таких, как:

- 1.2. грузоподъемность – 5 тонн.
- 1.3. типы электродвигателей
- 1.4. электроавтоматика управления.

Таблица 1 – Типы электродвигателей

Параметры	Электродвигатели приводов механизмов	
	Подъёма	Передвижения
Назначение (механизм на котором установлен двигатель)		
Тип и условное обозначение	КГЕ 3317-24/6 ТР1	ККЕ 1407-12/4А
Напряжение, В	380	380
Номинальный ток, А	15,0/18,0	1,4/5,0
Номинальная мощность, кВт	1,7/8,0	0,11/0,37
Частота вращения при 50 Гц, об/мин	200/920	400/1340
Продолжительность включения, %	25/50	15/30
Вид питания	Переменное, трехфазное.	

2. Осуществил осмотр кран-балки

- 2.1. Внешний осмотр: Начинается осмотр с внешней части крана-балки. Проверяется, нет ли видимых повреждений, трещин, изломов или износа на поверхности [3].
- 2.2. Проверка опорных поверхностей: Проверил опорные поверхности крана-балки, чтобы убедиться, что они не имеют трещин, деформаций или ослабления. Также проверил, нет ли царапин или других повреждений, которые могут повлиять на эффективность подъема грузов.
- 2.3. Состояние крепежей: Проверил крепежные элементы на наличие коррозии, ослабления или высокой затяжки. Убедился, что все болты, гайки и шайбы на месте и надежно затянуты.
- 2.4. Проверка механизмов: Проверил работоспособность всех механизмов крана-балки, включая тормоза, блокировки и устройства безопасности. Убедился, что они легко активируются и работают должным образом.
- 2.5. Проверка электрооборудования: проверил состояние электрооборудования, включая провода, соединения и выключатели. Убедился, что все соединения надежны и нет повреждений, которые могут привести к плохому контакту или короткому замыканию.

3. Подобрал комплект радиоуправления- кнопочное радиоуправление TELECRANE F24-6D (пульт 6 кн. 2 скорости, питание 220/380 В) 00005569

Технические характеристики
Функция: Стоп, Старт, Вкл/Выкл, 6 кнопок (две скорости)
Диапазон частот: УВЧ: 425–446 МГц Напряжение питания: 220–380 В Дистанция управления: до 100м
Габариты: радиопульт-передатчик: 186x61x51 мм, приемник: 200x162x107 мм Вес НЕТТО: 1.5 кг
Размер упаковки: 51x50x32 см Класс защиты IP65 Диапазон температур от -35°C до +75°C

4. Выполнение установки радиоприемника в электрощитовую кран-балки.

Перед установкой радиоуправления на кран-балку необходимо найти подходящее место для установки модуля приемника. Данный модуль должен быть защищен от внешних воздействий, таких как пыль и влага. При помощи инструкции, включенной в комплект, подключить модуль приемника к электрической сети крана. Установите пульт управления. Он должен быть удобным для оператора и иметь удобные кнопки для управления краном. Проверить работу радиоуправления. Для этого включите кран и проверьте, как работает управление с помощью пульта. Пользуйтесь инструкцией для настройки.

Применение дистанционного управления кран-балкой [4] через радиоуправление позволяет достичь ряда значимых характеристик и преимуществ. Во-первых, разгрузка материала становится более безопасной благодаря удаленному контролю над механизмом. Во-вторых, оператор получает возможность работать на расстоянии до 100 метров от крана-балки, что повышает удобство и быстроту выполнения задач.

Преимущества дистанционного управления также включают простоту контроля над краном-балкой и обеспечение достаточного обзора рабочего пространства, сохраняя при этом безопасность оператора. Кроме того, оптимизация рабочего процесса и сокращение холостых проходов крана являются результатами внедрения данной модернизации. Важно отметить также повышенную точность при перемещении и транспортировке груза.

Таким образом, установка дистанционного управления кран-балкой через радиоуправление TELECRANE F24-6D представляется весьма перспективным решением для промышленных предприятий. Ее преимущества в безопасности, удобстве и скорости работы, простоте контроля, оптимизации рабочего процесса и повышенной точности при работе с грузами обеспечивают эффективную и эргономичную модернизацию кран-балки.

Список литературы

1. Александров М. И Грузоподъемные машины: учеб. для вузов/ М. П. Александров. М.: Изд-во МГТУ им. Р Э. Баумана: Высш. шк., 2000.552 с.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. СПб.: Изд-во ДЕАН, 2001.272 с.
3. Легкие крановые системы и консольные краны РОЛТЭК. — Санкт-Петербург : ИПК «Коста», 2023. — 76 с.
4. Каржавин В.В. Краны машиностроительных предприятий : учеб. пособие /В.В. Каржавин, С.Ф. Каменских. Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. 88 с.

References

1. Alexandrov M. And Lifting machines: textbook. for universities / M. P. Alexandrov. M.: Publishing house of the Bauman Moscow State Technical University: Higher School, 2000. p.552
 2. Rules of the device and safe operation of lifting cranes. St. Petersburg: Publishing House of DEAN, 2001. p.272
 3. Light crane systems and cantilever cranes ROLTEK. — St. Petersburg : IPK "Costa", 2023. — p.76
 4. Karzhavin V.V. Cranes of machine-building enterprises : textbook. manual / V.V. Karzhavin, S.F. Kamenskikh. Yekaterinburg: Publishing house of GOU VPO "Russian State Prof.-ped. un-t", 2008. p.88
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.89

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Маренкова А.В.

ФГОБУ ВО "ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ", Москва, Россия (125167, город Москва, Ленинградский проспект, д. 49/2), e-mail: 212173@edu.fa.ru

В работе исследуется прогнозирование развития транспортных потоков. В качестве данных для моделирования были взяты изменчивые в течении исследуемых периодов пассажиропотоки – железнодорожный и воздушный. Проведено сравнение методов нечёткой и четкой регрессии. Показаны результаты моделирования транспортных потоков на четких и нечетких переменных.

Ключевые слова: Нечеткие числа, моделирование транспортных потоков, регрессия.

SOLVING THE PROBLEM OF FORECASTING THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT USING FUZZY LOGIC

Marenkova A.V.

FINANCIAL UNIVERSITY UNDER THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION, Moscow, Russia (125167, Moscow, Leningradsky Prospekt, 49/2), e-mail: 212173@edu.fa.ru

The paper examines the forecasting of the development of traffic flows. As data for modeling, passenger flows that were variable during the studied periods – rail and air - were taken. Fuzzy and clear regression methods are compared. The results of modeling traffic flows on clear and fuzzy variables are shown.

Keywords: fuzzy numbers, traffic flow modeling, regression.

Теоретические аспекты моделирования транспортных потоков, специфика видов транспорта и применяемых для них методов моделирования были описаны ранее в работе [1]. В данной работе будут рассмотрены практические результаты применения нечёткой логики для потоков. Исходные данные были взяты с основных открытых источников по статистике – Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [2] и Единой межведомственной информационно-статистическая система (ЕМИСС) [3]. Динамика пассажиропотока отражена на Рисунке 1. Водный транспорт и городской общественный транспорт (трамваи, троллейбусы и метрополитен) имеет небольшие изменения как в течение года (Рисунок 1а), так и на протяжении периода 1970-2023 гг., автобусы имеют определённую стабильность в последние годы, железнодорожный и воздушный транспорты динамичны в течении года и рассматриваемых периодов, ввиду чего они будут взяты для исследования.

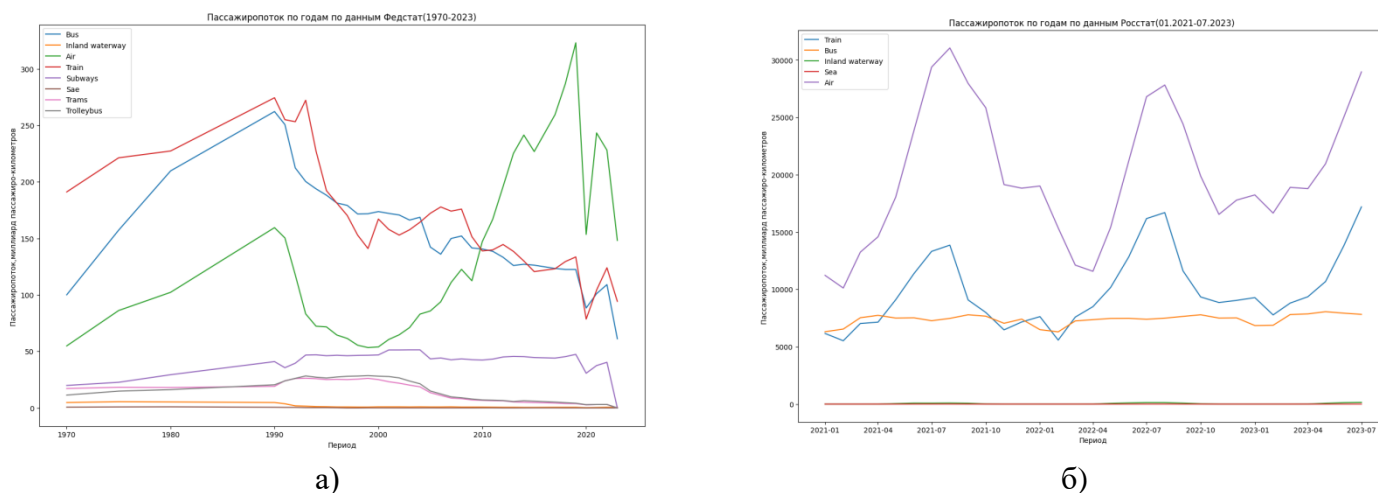


Рисунок 1 – Пассажиропоток по годам: а) данные Росстат; б) данные Федстат

Углубляясь в математический смысл используемых методов регрессии, можно сказать, что четкая регрессия усредняет данные по линейному закону, где значения функции в определённый момент напрямую зависят от одного коэффициента и может иметь ненулевое отклонение при $t=0$, как видно по формуле:

$$Y_t = a * t + b, \tag{1}$$

где t – расчетный период;

Y_t – величина тренда периода t ;

a и b – коэффициенты (a выражает степень зависимости исследуемого показателя Y_t от влияющего фактора t , b представляет собой смещение регрессии).

Функция нечёткой регрессии \tilde{f} в отличие от четкой имеет зависимость от нечеткого вектора параметров модели \tilde{A} , отклоняясь от прямой закономерной зависимости:

$$\tilde{f}(X) = \tilde{A}_0 x_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_N x_N \tag{2}$$

где $X = (x_0 \dots x_N)$ - объясняющие независимые переменные.

Задача программирования нечёткой регрессии требует определения уровня нечеткости, списка ограничений и целевой функции, в свою очередь нечеткие числа могут иметь треугольную форму, в усложненных случаях могут быть четырехуровневыми [4].

В качестве инструмента для моделирования транспортных потоков был выбран Python. Благодаря применению модуля `matplotlib.pyplot`[5] и `sklearn.linear_model.LinearRegression` [6] были построены графики линейной регрессии для наборов данных воздушного (Рисунок 2а-б) и железнодорожного (Рисунок 2в-г) транспорта. Воздушный пассажирооборот растет с годами (Рисунок 2а), при этом в последние периоды на фоне сезонности рост не велик (Рисунок 2б), железнодорожный имеет отличную тенденцию – он снижается (Рисунок 2в), но в рамках сезонности последних лет наблюдается рост (Рисунок 2г), что видно по линии тренда (красная линия на графиках).

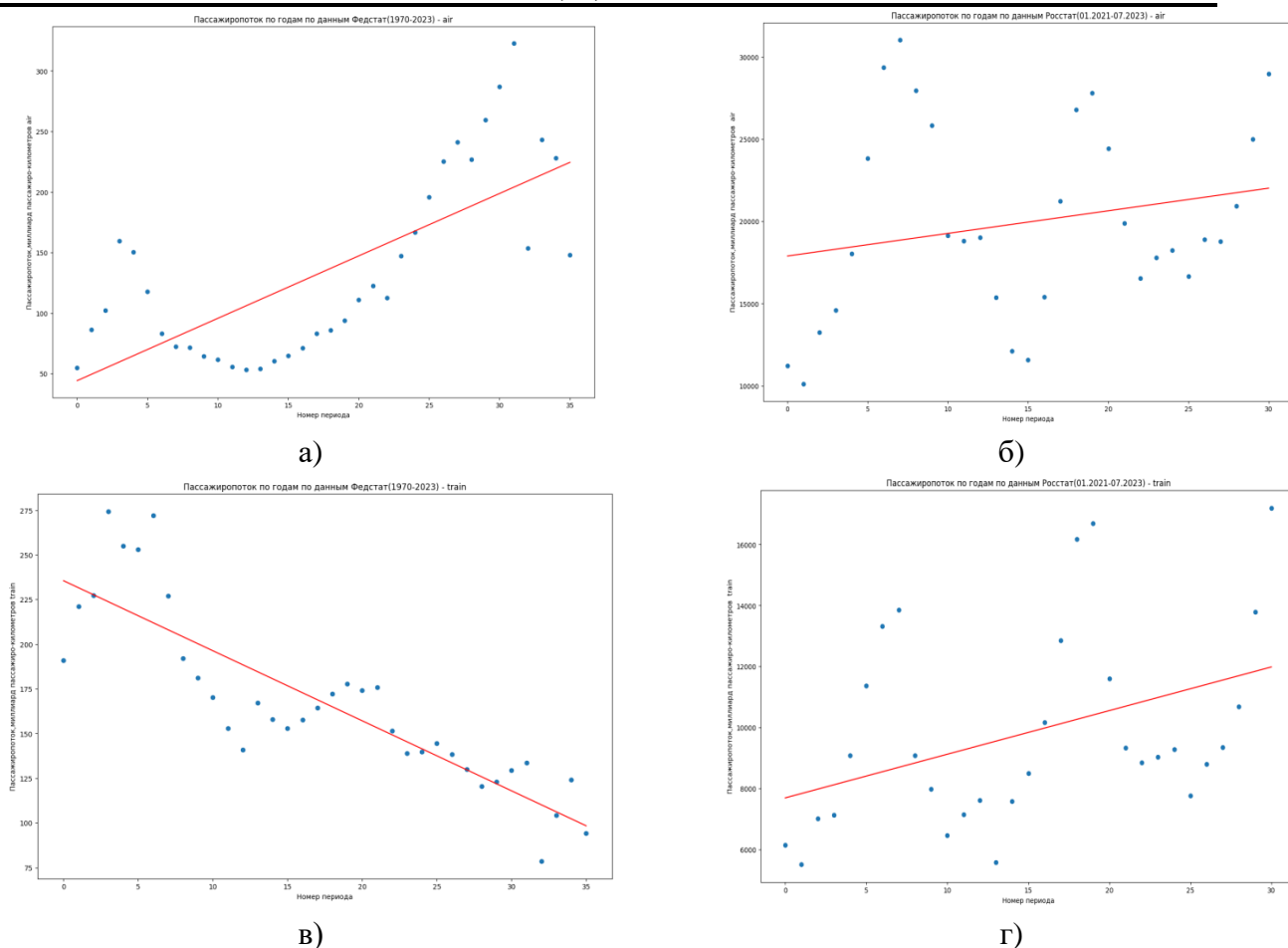


Рисунок 2 – Линейная регрессия: а) данные Федстат, воздушный; б) данные Росстат, воздушный; в) данные Федстат, железнодорожный; г) данные Росстат, железнодорожный

Нечёткая линейная регрессия была построена с применением модуля `svxort.modeling[7]` (Рисунок 3). Уровень нечёткости был взят 0.6, наиболее возможная оценка прогноза – линейная регрессия рассчитанная ранее, нижняя и верхняя оценка прогноза – границы в пределах, которых могут колебаться данные с учётом неопределённости.

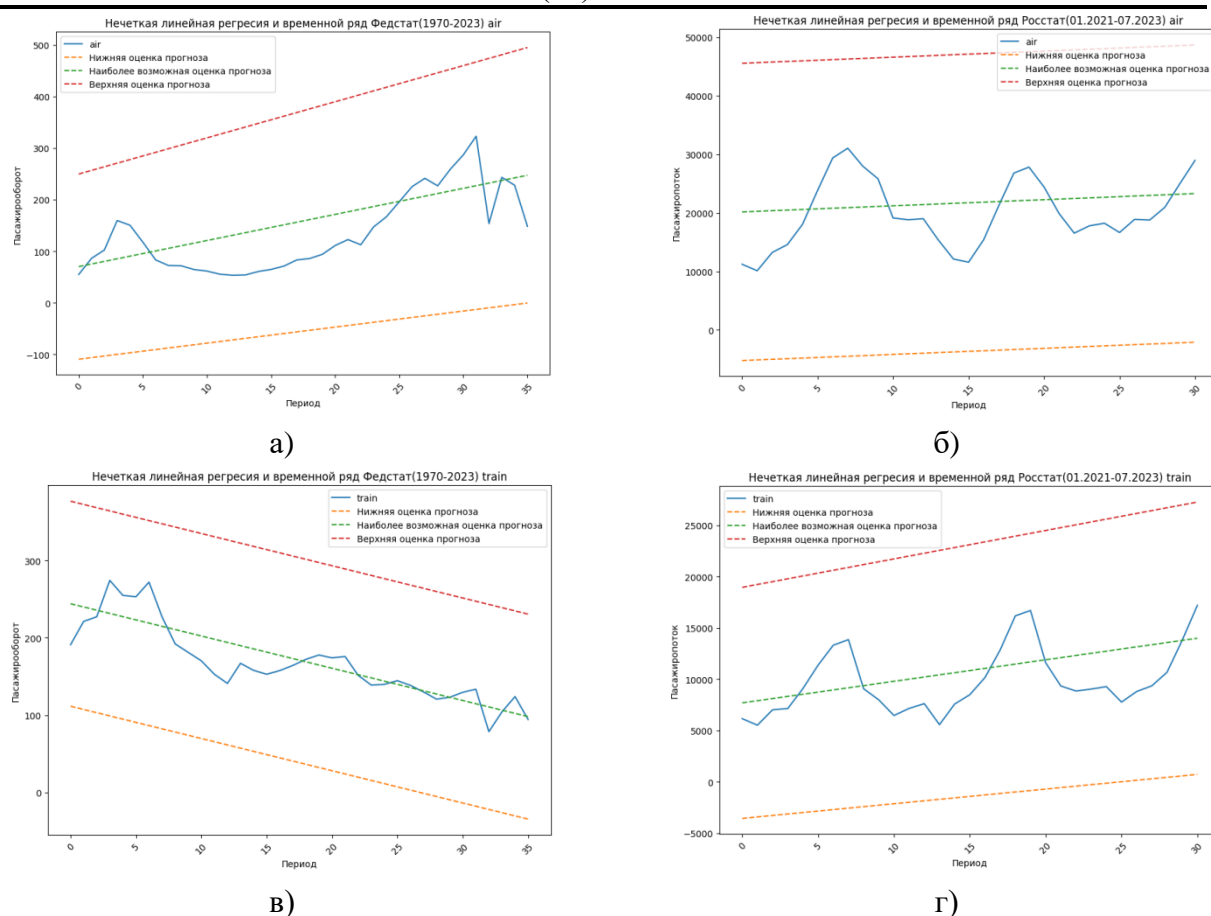


Рисунок 3 – Нечёткая регрессия: а) данные Федстат, воздушный; б) данные Росстат, воздушный; в) данные Федстат, железнодорожный; г) данные Росстат, железнодорожный

Результаты применяемых методов – линейной и нечёткой регрессии – показали тенденции развития видов транспорта. Различия методов заключается в том, что линейная даёт основное направление, а нечёткая регрессия даёт ещё и границы с учётом заданной неопределенности. Как видно на Рисунке 3, по данным Росстата, где наблюдается сезонность более широкие границы, по данным Федстата, границы у железнодорожного транспорта почти параллельны центральным наблюдениям, а у воздушного транспорта границы расширяются в последних периодах.

В заключение можно сделать вывод о том, что нечёткая регрессия применяется в тех случаях, где есть некая неопределённость данных, степень которой может быть оценена после проведения моделирования.

Список литературы

1. Маренкова, А. В. Моделирование транспортных потоков с использованием нечетких переменных / А. В. Маренкова // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8, № 9(35). – С. 4-10. – EDN FPTBGC.
2. Росстат Транспорт [Электронный ресурс] – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 13.11.2023)

3. Пассажирооборот по видам транспорта общего пользования [Электронный ресурс] – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31313> (дата обращения: 13.11.2023)
4. Souhir Charfeddine, Felix Mora-Camino, Marc de Coligny Fuzzy linear regression : application to the estimation of airtransport demand/ Souhir Charfeddine, Felix Mora-Camino, Marc de Coligny [Электронный ресурс]://[сайт]. — URL:<https://enac.hal.science/hal-01022443> (дата обращения: 13.11.2023).
5. matplotlib.pyplot [Электронный ресурс] – URL: https://matplotlib.org/stable/api/pyplot_summary.html (дата обращения: 13.11.2023)
6. sklearn.linear_model.Линейная регрессия [Электронный ресурс] – URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LinearRegression.html (дата обращения: 13.11.2023)
7. Modeling□[Электронный ресурс] – URL: <https://cvxopt.org/userguide/modeling.html> (дата обращения: 13.11.2023)

References

1. Marenkova, A.V. Modeling of transport flows using fuzzy variables / A.V. Marenkova // International Journal of Information Technology and Energy Efficiency. – 2023. – Vol. 8, No. 9(35). – pp. 4-10. – EDN FPTBGC.
 2. Rosstat Transport [Electronic resource] – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (accessed: 13.11.2023)
 3. Passenger turnover by types of public transport [Electronic resource] – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31313> (accessed: 13.11.2023)
 4. Souhir Charfeddine, Felix Mora-Camino, Marc de Coligny Fuzzy linear regression : application to the estimation of airtransport demand / Souhir Charfeddine, Felix Mora-Camino, Marc de Coligny [Electronic resource] // : [website]. — URL: <https://enac.hal.science/hal-01022443> (accessed: 13.11.2023).
 5. matplotlib.pyplot [Electronic resource] – URL: https://matplotlib.org/stable/api/pyplot_summary.html (accessed: 13.11.2023)
 6. sklearn.linear_model.Linear regression [Electronic resource] – URL: https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LinearRegression.html (accessed: 13.11.2023)
 7. Modeling□[Electronic resource] – URL: <https://cvxopt.org/userguide/modeling.html> (accessed: 13.11.2023)
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.322

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Чечуров Н.Э.

*ФГОБУ ВО " УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ",
Екатеринбург, Россия (620144, город Екатеринбург, ул. Куйбышева, д.30), e-mail:
hukumachecurov@yandex.ru*

В данной статье рассмотрены волоконно-оптические линии связи (далее ВОЛС), как наиболее высокоскоростной способ передачи информации в настоящий момент. Рассматриваются базовые плюсы и минусы ВОЛС. Также изложены основы работы технологии.

Ключевые слова: Информация, технологичность, волокна, применимость, оборудование.

USE OF FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES

Chechurov N.E.

*URAL STATE MINING UNIVERSITY, Yekaterinburg, Russia (620144, Ekaterinburg, Kuibysheva
st., 30), e-mail: hukumachecurov@yandex.ru*

This article discusses fiber-optic communication lines (hereinafter referred to as FOCL), the highest-speed method of transmitting information at the moment. The basic pros and cons of fiber-optic communication lines are analyzed. The basics of how the technology works are also outlined.

Keywords: Information, manufacturability, fibers, applicability, equipment.

В качестве предмета исследования рассматриваются волоконные оптические линии связи для устройства интернета.

Цель исследования:

Целью научной статьи является исследование и анализ передачи информации, выявление их преимуществ перед недостатками.

Задачи исследования:

- Исследования типов волокон;
- Анализ и исследование преимуществ использования ВОЛС;
- Исследования основного оборудования ВОЛС.

Введение

Принцип передачи света с помощью оптоволоконной линии был впервые представлен еще в далеком 19 веке, но применению в массы препятствовало отсутствие соответствующей технологии и способов обработки данных. [6]

В 1934 году Норман Р. Френч получил патент на оптическую телефонную систему, в которой сигналы передавались с помощью света через стеклянные стержни. [6]

В 2018 году, специалисты разработали совершенно новый тип оптического волокна (трехмодового), была достигнута и реализована скорость передачи информации в 159 терабит/сек. на расстояние немногим выше 1040 км. [6]

Структура ВОЛС состоит из элементов, которые совместно обеспечивают передачу оптических сигналов. [1]

Оптическое волокно – нить прозрачного материала (из стекла и пластика), используемая для передачи электромагнитных волн в сочетании оптических инфракрасных диапазонов. [4]

1. Тип волокна.

1.1. Многомодовые (от английской модели) кабели светят в разных режимах, что упрощает требования к вводу оптоволоконного сигнала с помощью светодиодов. Такие кабели используются там, где расстояние составляет не менее нескольких километров. [4]

1.2. Одномерные волокна имеют сравнительно небольшой диаметр сердцевины – около 7-9 мкм. Распространение в волокне импульса выполняется и происходит одной модой – при этом устраняется рассеивание. Он передает высокоскоростные сигналы на расстояние от 19 км, подходит в места готовых магистралей для авто. [4]

Обмен происходит через волоконно-оптические линии связи (теперь известные как ВОЛС) включает в себя множество преимуществ по сравнению с конкурентами. Это способствует обмену информации в сети интернет с высокой скоростью.

2. Анализ и исследование преимуществ использования ВОЛС.

ВОЛС имеет ряд положительных и отрицательных свойств:

К плюсам ВОЛС можно отнести:

- Частоту более 1000 Гц [1];
- Уменьшенное затухание [1];
- Высокую помехоустойчивость [1];
- Малый вес и объем [4];
- Высокую защиту от несанкционированного доступа [1];
- Длительный срок эксплуатации [4].

К минусам ВОЛС можно отнести:

- Высокую стоимость материалов [1];
- Хрупкие и требуют высокого внимания при монтаже и обслуживанию [4];
- Высокую стоимость монтажа, ввода в работу и обслуживания [4]

По данному волокну возможны два типа лучей:

- Меридиональные - электрические магнитные симметричные волны.
- Косые – несимметричные смешанные волны.

3. Основное оборудование волоконно-оптических линий связи.

Оптический кабель, светонесущими элементами которого являются оптические волокна.

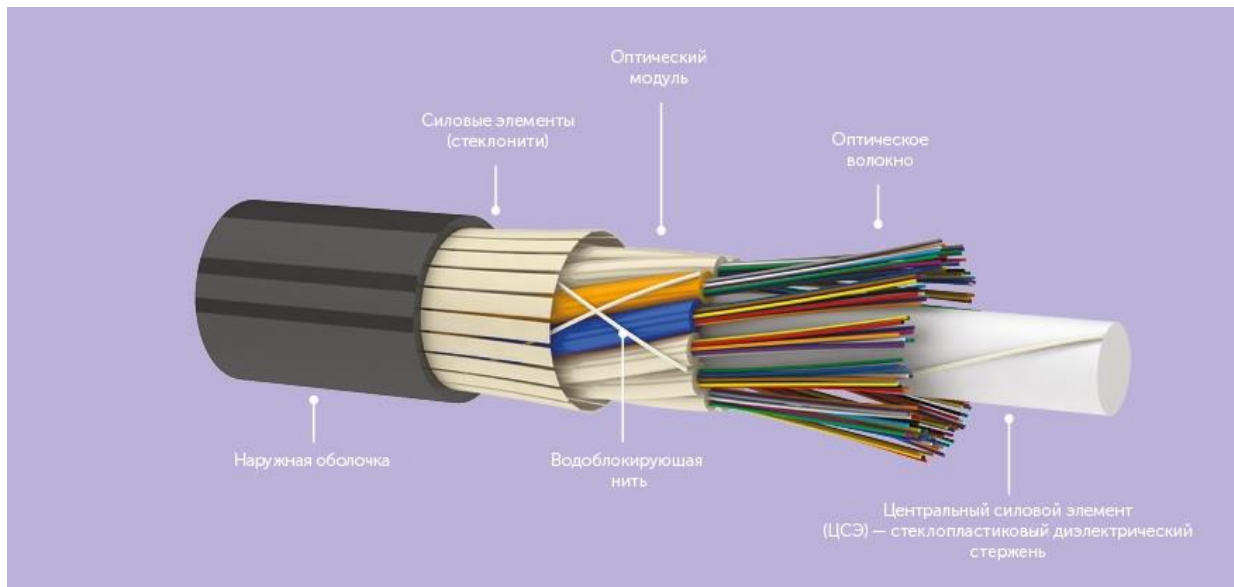


Рисунок 1 – Оптический кабель.

OLT - Терминатор оптической линии, также называемый терминалом оптической линии, представляет собой устройство, которое служит конечной точкой поставщика услуг в пассивной оптической сети. [5]



Рисунок 2 – Терминал оптической линии фирмы ZTE.

ОРШ – Оптический распределительный шкаф, служит для распределения волокон. [5]



Рисунок 3 – Оптический распределительный шкаф.

Пигтейл – оптический шнур с разъёмом для соединения светового потока. [1]

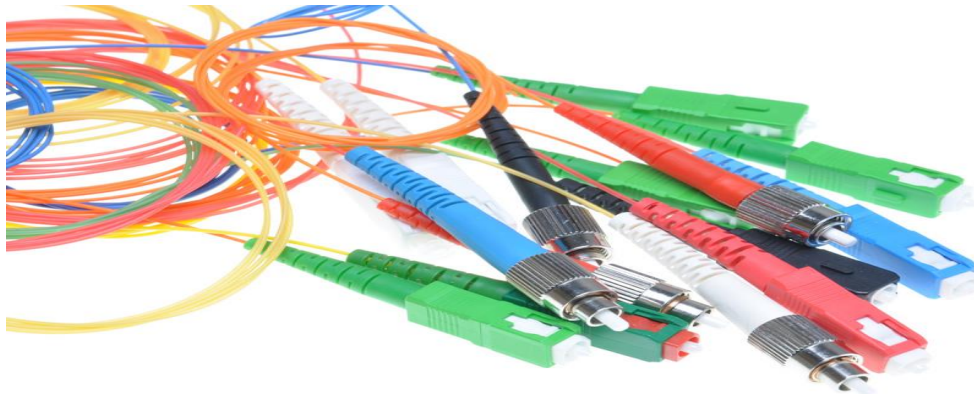


Рисунок 4 – Пигтейл оптический.

Оптическая муфта – устройство, используемое для соединения двух или более оптических кабелей. Оптическую муфту размещают на кабельных опорах или же на колодцах кабельных линейных связях. [4]

Оптический кросс – устройство, предназначенное для ввода оптического волокна и подключения к нему активного оборудования. [5]

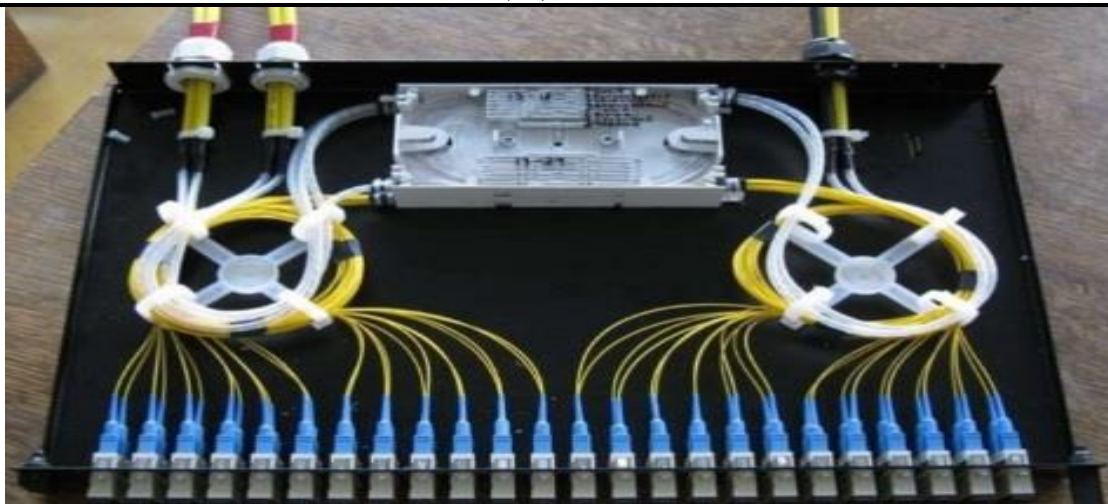


Рисунок 5 – Оптический кросс.

Классификация происходит в зависимости от области применения и условий эксплуатации:

- Наружные кабели монтируются между объектами:
- Зданиями, центрами связи;
- Кабели для внутреннего использования дают возможность подключения к высокоскоростному соединению в зданиях и жилых домах.

По условиям эксплуатации:

- Магистральные кабели являются основой сети, передающей сигналы на большие расстояния;
- Монтажные кабели можно использовать для подключения внутри устройства сети;
- Стационарные кабели входят в комплект поставки;
- Зональные используются, например, для этажа или здания. [2]

Результаты

Анализ и исследование технологии волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), позволяет выявить преимущества для использования при устройстве и монтаже сети интернет в сравнении с недостатками, что положительно сказывается на применении и перспективах развития. [3]

Для использования сети, очень важны преимущества, которые дают волоконно-оптические линии связи

Технология поддерживает бесперебойный доступ, а также значительно увеличивает скорость подключения к Интернету.

Заключение

ВОЛС значительно развивает обмен информации в современных сетях связи.

Благодаря возможностям высокой передачи информации, а также надёжности ВОЛС стали основным способом для подключения частных и многоквартирных домов к сети интернет. Это существенно улучшает качество доступа в глобальную сеть.

В последние годы повышение потребности в услугах связи привели к развитию коммуникаций во всех сферах.

Технология развивается, чтобы новые способы, смогли удовлетворить растущие потребности. Техника оптоволоконного метода играет определенную ценность для современных решений, которая представляет собой высокоскоростную среду, обмена информации.

Список литературы

1. Академия Selectel // [Персональная страница Тирекс-‘Самый зубастый автор’] / IT-инфраструктура для амбициозных проектов. [Москва, 24.06.23]. URL: <https://selectel.ru/blog/focl/> (дата обращения: 11.10.23).
2. Волоконно-оптические элементы и линии связи (ВОЛС)// [Презентация Д.т.н., профессор Ланин В.Л.,] «Информационная среда XXI века.». [Екатеринбург, 20.12.2011]. URL: <http://www.myshared.ru/slide/1396958/> (дата обращения: 07.10.23).
3. Дэвид Бейли Волоконная оптика. / Дэвид Бейли и Эдвин Райт // КУДИЦ-Пресс. Санкт-Петербург, 2008. – 320 с. – ISBN 9785911360481, 5911360489.
4. Оптические волокна для телекоммуникаций: // [Персональная страница AlexFiber] / ЭФО Разработка систем связи. [Екатеринбург, 19.06.2016]. URL: <https://habr.com/ru/users/AlexFiber/publications/articles/> (дата обращения: 16.10.23).
5. Скляр О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи. // Лань. Санкт-Петербург 2023. – 268 с. – ISBN 978-5-507-46141-7.
6. Статья// [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki> <https://ru.wikipedia.org/wiki> /Оптическое волокно (дата обращения: 17.10.2023).

References

1. Selectel Academy // [Tirex Personal page-‘The most toothy author’] / IT infrastructure for ambitious projects. [Moscow, 24.06.23]. URL: <https://selectel.ru/blog/focl/> / (date of request: 11.10.23).
 2. Fiber-optic elements and communication lines (VOLS)// [Presentation of Doctor of Technical Sciences, Professor Lanin V.L.,] "Information environment of the XXI century.". [Yekaterinburg, 20.12.2011]. URL: <http://www.myshared.ru/slide/1396958/> / (accessed: 07.10.23).
 3. David Bailey Fiber Optics. / David Bailey and Edwin Wright // KUDITZ Press. Saint Petersburg, 2008. – 320 p. – ISBN 9785911360481, 5911360489.
 4. Optical fibers for telecommunications: // [AlexFiber personal page] / EFO Development of communication systems. [Yekaterinburg, 06/19/2016]. URL: <https://habr.com/ru/users/AlexFiber/publications/articles/> / (date of reference: 16.10.23).
 5. Sklyarov O. K. Fiber-optic networks and communication systems. // Doe. Saint Petersburg 2023. – 268 p. – ISBN 978-5-507-46141-7.
 6. Article// [Electronic resource]: Wikipedia. Free encyclopedia. — Access mode: <https://ru.wikipedia.org/wiki> <https://ru.wikipedia.org/wiki> /Optical fiber (date of application: 17.10.2023).
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 536.2

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МИНИМАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕОВИУСА

¹Мустафин Р.М., ²Попов А.И., ³Брагин Д.М.

ФГБОУ ВО "САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Самара, Россия (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244), e-mail: ¹ ravil-bk211@mail.ru, ²pixinot@icloud.com, ³dimabragin2204@yandex.ru

В настоящей статье представлено исследование аэродинамических характеристик в элементарных ячейках трижды периодических минимальных поверхностей (TPMS) Неовиуса, сгенерированных методом граничных условий (Surface Evolver). Целью исследования было изучение аэродинамических свойств этих элементарных ячеек. Исследование проводилось методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS, и результаты включают поля распределения скоростей и давлений, а также зависимость перепада давления от скорости для разных моделей турбулентности. Выявлены оптимальные модели турбулентности для решения подобных задач.

Ключевые слова: TPMS, аэродинамика, метод конечных элементов, ANSYS.

ABOUT ONE MULTI-FACTOR CLUSTERING OBJECTS METHOD

¹Mustafin R.M., ²Popov A.I., ³Bragin D.M.

FEDERAL STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER PROFESSIONAL EDUCATION SAMARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY, Samara, Russia (443100, Samara, st. Molodogvardeyskaya, 244), e-mail: ¹ ravil-bk211@mail.ru, ²pixinot@icloud.com, ³dimabragin2204@yandex.ru

This paper presents a study of the aerodynamic characteristics in unit cells of Neovius triply periodic minimal surfaces (TPMS) generated by the boundary condition method (Surface Evolver). The goal of the study was to study the aerodynamic properties of these unit cells. The study was carried out using the finite element method in the ANSYS software package, and the results include the velocity and pressure distribution fields, as well as the dependence of the pressure drop on the velocity for different turbulence models. Optimal turbulence models for solving such problems have been identified.

Keywords: TPMS, aerodynamics, finite element method, ANSYS.

Введение

Трижды периодические минимальные поверхности (или TPMS от англ. triply periodic minimal surface) – это класс поверхностей, которые обладают тремя периодами симметрии и имеют минимальную площадь среди всех поверхностей, удовлетворяющих определенным условиям.

Трижды периодические минимальные поверхности являются не только генерируемыми человеком они также встречаются и в природе. К примеру, в листьях растений, панцирях

жуков и ракообразных и т.д. [1]. Также они давно исследуются и еще начале 19 века были проведены первые исследования TPMS, и с тех пор они не утрачивают актуальность для исследователей по всему миру [2,3]. Такую актуальность TPMS структуры получили за счет уникальных особенностей: способность делить пространство на два и более непересекающихся объема, создавая высокое отношение площади поверхности к объему [4], высокая удельная прочность [5], высокая пористость материалов с TPMS архитектурой [6].

Трижды периодических минимальных поверхностей нашли широкое применение в физике, химии, материаловедении, биологии и других науках. TPMS могут использоваться при разработке дизайна поверхностей для каталитических процессов [7], создании мембранных фильтров [8] и изготовлении различного теплообменного оборудования [9]. Это дает импульс ученым исследовать различные свойства этих поверхностей: теплофизических [10], гидродинамических [11] и других свойств материалов на основе TPMS структур.

Целью настоящей работы является исследование аэродинамических свойств трижды периодической минимальной поверхности. В качестве объекта исследования выбрана поверхность Неовиуса. Эта поверхность, первоначально обнаруженная финским математиком Эдвардом Рудольфом Неовиусом [12].

Поверхность имеет род 9 и делит пространство на два бесконечных неэквивалентных лабиринта. Подобно многим другим трижды периодическим минимальным поверхностям, она изучалась в связи с микроструктурами блок-сополимеров, ПАВ-водных смесей и в связи с кристаллографией мягких материалов [13].

Поверхность можно аппроксимировать поверхностью уровня

$$3[\cos(x) + \cos(y) + \cos(z)] + 4\cos(x) + \cos(y) + \cos(z) = 0$$

Методы исследования

В качестве метода исследования выбрано CFD-моделирование в программном комплексе Ansys в модуле Fluent. Ansys - универсальное программное средство для анализа методом конечных элементов (МКЭ), которое существует и развивается в течение последних 30 лет. Оно пользуется значительной популярностью среди специалистов в области автоматизированных инженерных расчетов (САПР, или CAE) и предоставляет возможность решать разнообразные задачи МКЭ, включая линейные и нелинейные, стационарные и нестационарные пространственные задачи в области механики деформируемых тел и механики конструкций. Это также включает в себя задачи, связанные с нестационарными геометрическими и физическими нелинейностями в контактном взаимодействии элементов конструкций, а также задачи в области механики жидкостей и газов, теплообмена и теплопередачи, электродинамики, акустики, и механики связанных полей.

Первоначально архитектура TPMS Неовиуса создается в программе Surface Evolver [14], основанной на граничном методе генерации. При помощи функций итеративного уточнения исходной поверхности, определяемой ее границами, с учетом геометрических ограничений было получено облако точек, точно описывающее топологию TPMS структуры. Далее из облака точек получаем поверхность с помощью программного комплекса SolidWorks. После этого полученная поверхность загружается во встроенный в ANSYS редактор геометрий Space Claim. При помощи функции Thickness поверхности придается толщина. Элементарная ячейка TPMS Неовиуса обладает кубической симметрией и вписывается в куб.

Для исследования была построена геометрия, состоящая из 4, расположенных в ряд, элементарных кубических ячеек, а также входной и выходной зона стабилизации потока. Геометрические параметры исследуемой геометрии следующие: размеры элементарной ячейки 5x5x5 мм; входная и выходной зоны – 5x5x20 мм; толщина стенки элементарной ячейки 0,2 мм. Расчетная геометрия показана на Рисунке 1.

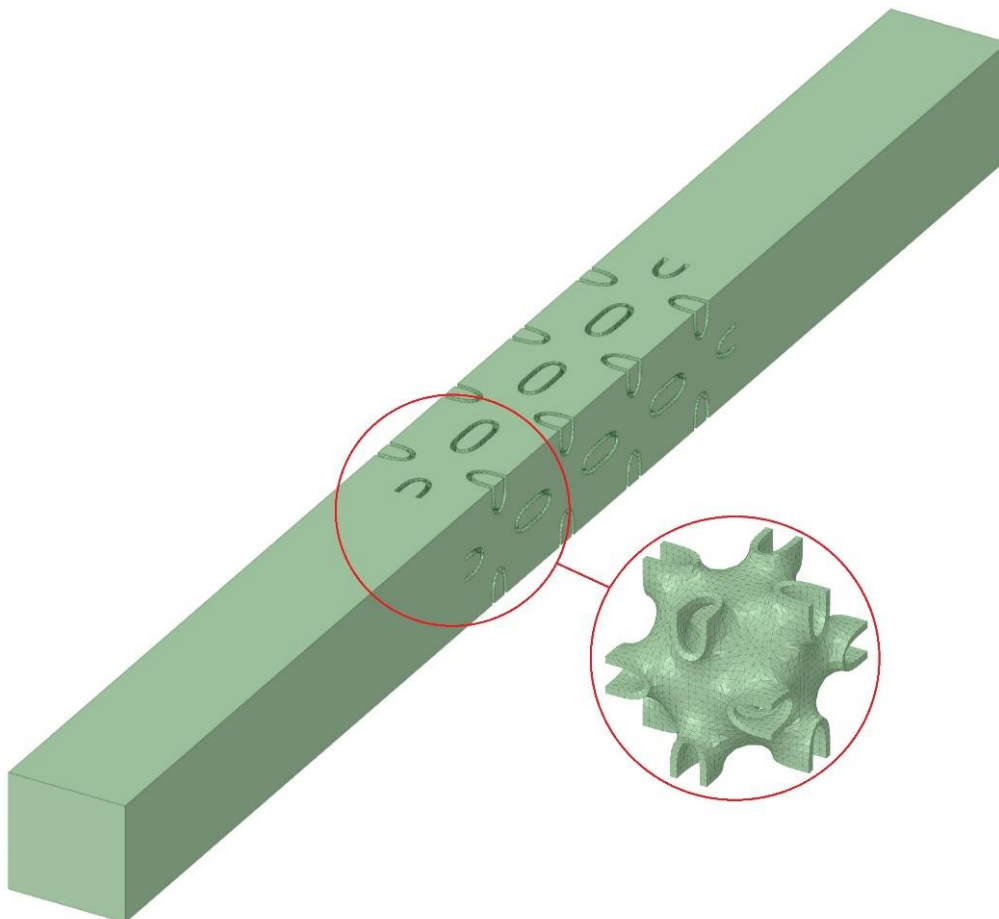


Рисунок 1 – Геометрия.

Сетка для численного моделирования методом конечных элементов выполнена в модуле Fluent Meshing (см. Рисунок 2).

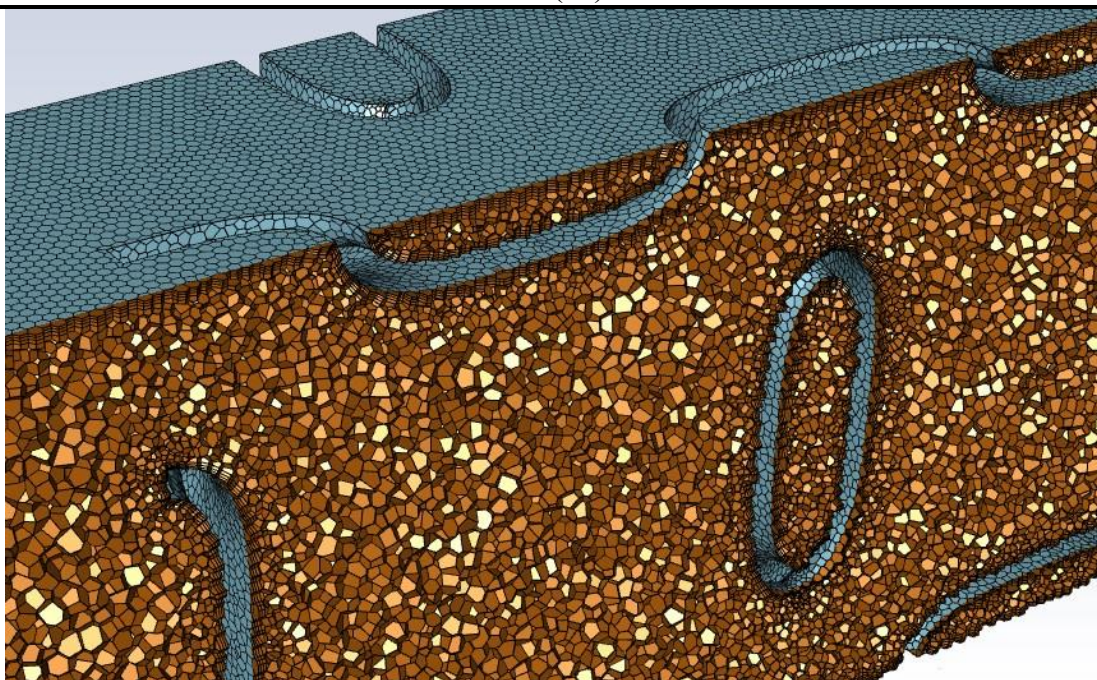


Рисунок 2 – Расчетная сетка.

В результате проведения сеточной сходимости (Рисунок 3) было выявлено, что сетка, состоящая из 4500000 элементов, удовлетворяет точность расчетов на 98%.

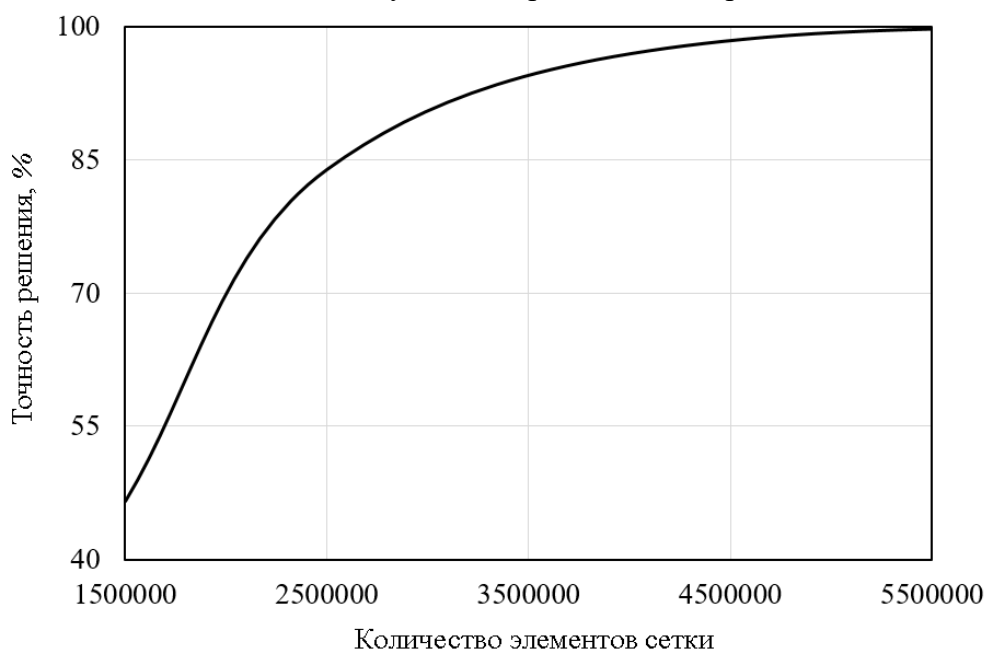


Рисунок 3 – Сеточная сходимость.

Результаты

Для анализа аэродинамических свойств трижды периодической минимальной поверхности Неовиуса, изменялась начальная скорость и различные модели турбулентности. Исследуемый диапазон скорости – $0,001 < v < 0,1$ м/с, а в качестве моделей турбулентности были выбраны: Laminar, k-e, k-omega (standart), Transition k-kl-omega, Transition SST, Reynolds stress. Задача решалась в стационарной постановке.

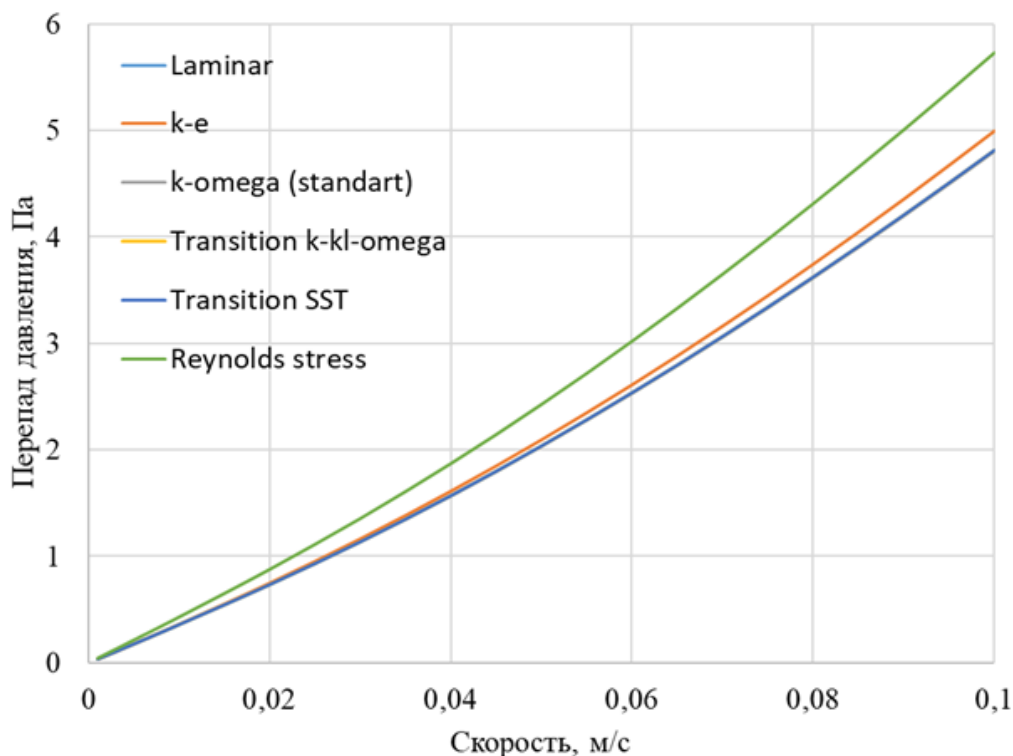


Рисунок 4 – График зависимости перепада давления от скорости потока для различных моделей турбулентности.

На Рисунок 4 показана зависимость перепада давления в канале от начальной скорости потока, для различных моделей турбулентности. Видно, что k-omega (standart), Transition k-kl-omega, Transition SST дают практически идентичные результаты. Максимальное отклонение показывают результаты при модели турбулентности Reynolds stress. Также отклонение имеет модель турбулентности k-e, именно эту модель турбулентности чаще всего используют исследователи при решении подобных задач.

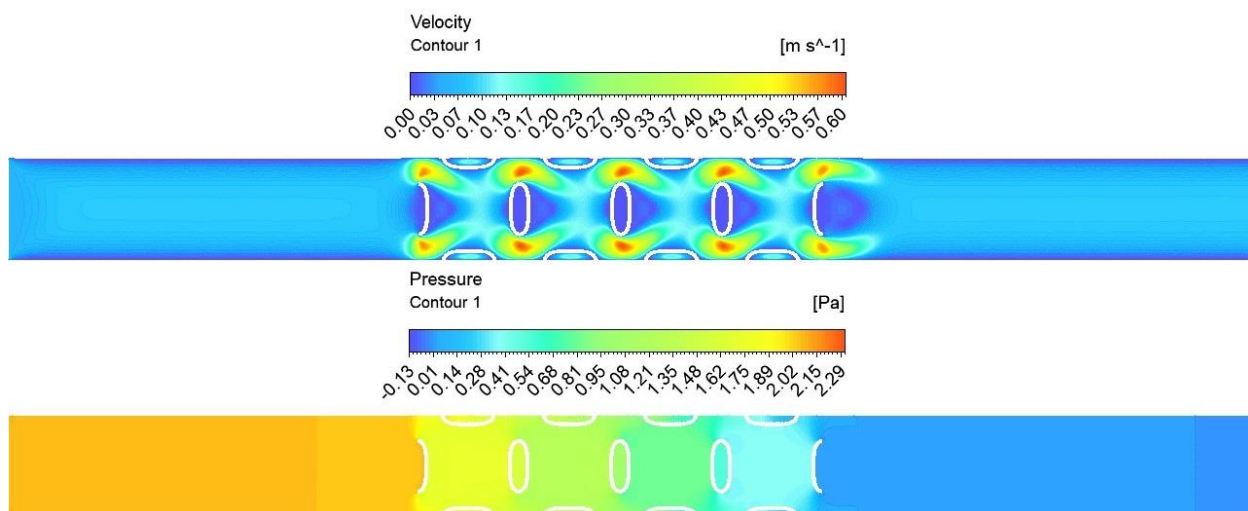


Рисунок 5 – Контур скорости и давления.

На Рисунке 5 показаны контуры скорости и давления в канале с TPMS Неовиуса для k-ε модели турбулентности при скорости 0,05 м/с. На контурах показано распределение скоростей и давлений, видно, что поток ускоряется в местах сужения. Это согласуется с физическими законами течения через каналы.

Выводы

При решении задач аэродинамики часто встает вопрос о выборе модели турбулентности. Исследование показало, что модели турбулентности Laminar, k-ε, k-ω (standart), Transition k-k1-ω, Transition SST дают практически идентичные результаты с максимальным отклонением 1%. Наибольшее отклонение наблюдается при использовании модели турбулентности Reynolds stress и достигает 16%.

Если погрешность в 1% является удовлетворительным для решения задачи аэродинамики в структурах, состоящих из трижды периодических минимальных поверхностей, то можно выбрать любую из исследуемых моделей турбулентности, кроме Reynolds stress.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10044, <https://rscf.ru/project/23-79-10044/>

The study was funded by the Russian Science Foundation grant No. 23-79-10044, <https://rscf.ru/project/23-79-10044/>

Список литературы

1. Дьяченко С. В. и др. Физико-механические свойства модельного материала с топологией трижды периодических поверхностей минимальной энергии типа Гироид в форме куба //Журнал технической физики. – 2018. – Т. 88. – №. 7. – С. 1014-1017.
2. Cole F. N. The April meeting of the American Mathematical Society in New York. – 1914.
3. Koch E. On 3-Periodic Minimal Surfaces. I. Symmetry and Derivation. – 1939.
4. Al-Ketan O., Abu Al-Rub R. K. Multifunctional mechanical metamaterials based on triply periodic minimal surface lattices //Advanced Engineering Materials. – 2019. – Т. 21. – №. 10. – С. 1900524.
5. Cai Z. et al. The effect of porosity on the mechanical properties of 3D-printed triply periodic minimal surface (TPMS) bioscaffold //Bio-Design and Manufacturing. – 2019. – Т. 2. – С. 242-255.
6. Al-Ketan O. et al. Additive manufacturing of architected catalytic ceramic substrates based on triply periodic minimal surfaces //Journal of the American Ceramic Society. – 2019. – Т. 102. – №. 10. – С. 6176-6193.
7. Evsevlev S. et al. X-ray computed tomography procedures to quantitatively characterize the morphological features of triply periodic minimal surface structures //Materials. – 2021. – Т. 14. – №. 11. – С. 3002.
8. Lesmana L. A., Aziz M. Triply periodic minimal surface-based heat exchanger as metal hydride hydrogen storage reactor //Chemical Engineering Transactions. – 2021. – Т. 88. – С. 229-234.
9. Qureshi Z. A. et al. Heat transfer performance of a finned metal foam-phase change material (FMF-PCM) system incorporating triply periodic minimal surfaces (TPMS) //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2021. – Т. 170. – С. 121001.

10. Брагин Д.М., Зинина С.А., Еремин А.В. Исследование теплоизоляционных свойств композиционного материала с структурой ТПМП // Наукосфера. – 2021. – № 11-2. – С. 120-124.
11. Eremin A. V. et al. Numerical Study of Hydrodynamic Characteristics of Porous Material Based on Schwarz P Surface //2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – IEEE, 2021. – С. 1030-1032.
12. Neovius, E. R. "Bestimmung Zweier Spezieller Periodischer Minimalflächen, Akad." Abhandlungen, Helsinki, Finland (1883).
13. Mackay, Alan L. "Flexicrystallography: Curved surfaces in chemical structures." Current Science (1995): 151-161.
14. Brakke K. A. The surface evolver //Experimental mathematics. – 1992. – Т. 1. – №. 2. – С. 141-165.

References

1. Dyachenko S.V. et al. Physico-mechanical properties of a model material with the topology of triply periodic surfaces of minimal energy of the Gyroid type in the shape of a cube // Journal of Technical Physics. – 2018. – Т. 88. – No. 7. – pp. 1014-1017.
 2. Cole F. N. The April meeting of the American Mathematical Society in New York. – 1914.
 3. Koch E. On 3-Periodic Minimal Surfaces. I. Symmetry and Derivation. – 1939.
 4. Al-Ketan O., Abu Al-Rub R. K. Multifunctional mechanical metamaterials based on triply periodic minimal surface lattices //Advanced Engineering Materials. – 2019. – Т. 21. – No. 10. – p. 1900524.
 5. Cai Z. et al. The effect of porosity on the mechanical properties of 3D-printed triply periodic minimal surface (TPMS) bioscaffold //Bio-Design and Manufacturing. – 2019. – Т. 2. – pp.. 242-255.
 6. Al-Ketan O. et al. Additive manufacturing of architected catalytic ceramic substrates based on triply periodic minimal surfaces //Journal of the American Ceramic Society. – 2019. – Т. 102. – No. 10. – pp. 6176-6193.
 7. Evsevlev S. et al. X-ray computed tomography procedures to quantitatively characterize the morphological features of triply periodic minimal surface structures //Materials. – 2021. – Т. 14. – No. 11. – p. 3002.
 8. Lesmana L. A., Aziz M. Triply periodic minimal surface-based heat exchanger as metal hydride hydrogen storage reactor // Chemical Engineering Transactions. – 2021. – Т. 88. – pp.. 229-234.
 9. Qureshi Z. A. et al. Heat transfer performance of a finned metal foam-phase change material (FMF-PCM) system incorporating triply periodic minimal surfaces (TPMS) //International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2021. – Т. 170. – p. 121001.
 10. Bragin D.M., Zinina S.A., Eremin A.V. Study of the thermal insulation properties of a composite material with a TPMP structure // Naukosfera. – 2021. – No. 11-2. – pp. 120-124.
 11. Eremin A. V. et al. Numerical Study of Hydrodynamic Characteristics of Porous Material Based on Schwarz P Surface //2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – IEEE, 2021. – pp. 1030-1032.
 12. Neovius, E. R. "Bestimmung Zweier Spezieller Periodischer Minimalflächen, Akad." Abhandlungen, Helsinki, Finland (1883).
-

13. Mackay, Alan L. "Flexicrystallography: Curved surfaces in chemical structures." *Current Science* (1995): pp. 151-161.
 14. Brakke K. A. The surface evolver // *Experimental mathematics*. – 1992. – Т. 1. – No. 2. – pp. 141-165.
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 622.276.6

ОБЗОР ПОПУЛЯРНЫХ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Байбак Н.А., Бедесов Д.А., научный руководитель: Гульков А.Н., научный руководитель: ¹ Минакова П.С

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В статье дан краткий обзор распространенных методов увеличения нефтеотдачи. Были выявлены основные преимущества и недостатки описанных в данной научной работе методов. Был произведен сравнительный анализ данных технологий увеличения нефтеотдачи.

Ключевые слова: Методы увеличения нефтеотдачи, заводнение пласта, гидродинамический разрыв пласта, нагнетание паром, внутрипластовое горение, электромагнитное воздействие, газовые методы нагнетания, соляно-кислотная обработка.

EFFECTIVE METHODS OF ENHANCED OIL RECOVERY

Baibak N.A., Bedesov D.A., scientific supervisor: Gulkov A.N., scientific supervisor: ¹ Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

The article provides a brief review of effective enhanced oil recovery methods. The benefits and drawbacks of the methods described in this paper were identified. The study of oil recovery technologies was carried out.

Keywords: methods of enhanced oil recovery, reservoir flooding, hydrodynamic fracturing, steam flooding, fire flooding, electromagnetic action, gas injection methods, acid treatment.

Commercial oil production, in particular, high-viscosity and heavy oil, comes with great difficulties during the oil reservoir engineering. Basically, these problems are associated with changes in the permeability of rocks due to wellbore damage and a formation pressure decline. Variances of internal parameters of the trap (for example, pressure, flooding of the well, mineral content) provide an opportunity to fill the interstices with paraffins and resinous substance that are contained in the petroleum composition in the form of asphaltene deposits. Moreover, bottom-hole zone can be blocked up by mineralized reservoir water's salt and hydrates. This problem vastly reduces the efficiency and intensification of oil recovery. Therefore, scientific study of the most applicable oil recovery methods becomes an urgent task. This research gives a brief review of the most promising methods.

One of the most well-known and widespread methods of enhanced oil recovery is reservoir flooding. This technology is relatively simple in its implementation and cost-effective in comparison

to other methods. This technology is based on maintaining reservoir pressure by water injection. Flooding is carried out from different sides of the reservoir through injection wells. Methods of non-stationary flooding include cyclic flooding and changing the direction of filtration flows [1].

Another hydraulic method of increasing oil recovery is hydrodynamic fracturing (hydraulic fracturing). The technology is related not only to effects of fluid pressure, but also to the formation cracking. An excess pressure is created by pumping a viscous liquid in the downhole which leads to pressure increase by 1.5-2 times. This operation makes it possible to expand the size of interstices of the fluid seal and reservoir, which in turn results in the production increase. Sand or other fine-grained material can be injected to prevent fractures from closing with viscous fluid [3].

Heat treatment of the reservoir is one of the challenging and progressing method for high-viscosity oilfields. It is possible to change the rheological behavior of oil by heating it in the well, which affects the final production rate of the well. The most common methods of heat treatment are: the steam flooding, a hot water flooding, the fire flooding and an electromagnetic action. Steam or hot water injection are similar to reservoir flooding methods, the main difference lies in the fact of the physical basis of heat transfer from steam or water to oil [2].

Fire flooding is the process of injecting air into the formation to create a combustion front or a high-temperature zone. The temperature increase occurs by means of a chemical oxidation reaction between a part of the reservoir oil (heavy hydrocarbons) and oxygen of an exothermic nature. Actually, the combustion devices are gas burners, electric heaters and downhole thermal gas generators [1].

The electromagnetic action is caused by the influence of high and ultrahigh frequencies on the raw hydrocarbons. Under the external influence of microwave, a polarization effect occurs in the molecules, the dipole moments of the raw material molecules are reoriented along the field lines, which ultimately improves the flow melt index of the oil (a change in rheological behavior), reduces the surface tension at the phase boundary, and accelerates the filtration of displacing objects [3].

Gas methods of enhanced oil recovery have also widely used in petroleum recovery. The gas is injected into elevated areas of the reservoir to create an artificial gas cap, which boosts up an oil recovery factor. The fluid is taken from wells located lower in the formation structure. The gas quickly breaks through from injection wells to production wells in highly permeable zones due to state of aggregation of displacing agent and its low viscosity. In order to prevent this, gas is combined with water – a water-gas effect. Carbon dioxide, hydrocarbon gas (associated petroleum gas), nitrogen and air are also used as an injection agent. Practically, the method of water-alternating-gas was used on the wells of the Samotlor field. Water and hydrocarbon gas of the 1st stage of separation were used as the agent. As a result, the flow rate of the well increased by 7-15% in comparison with the flooding method [4].

Nevertheless, it is necessary to mention methods of oil recovery aimed at changing the characteristics of the rock. One of the most ambitious method is the hydrochloric acid treatment of wells. The basis of this technology is the effect on the throughput characteristics of the reservoir. With the help of acid injection, voids, cavities, channels of corrosion are formed in rocks, resulting in an increase in the formation reservoir properties. The following methods are: conventional hydrochloric acid treatment, acid bath, hydrochloric acid treatment under pressure and step-by-step hydrochloric acid treatment [6].

Conventional hydrochloric acid treatment is based on the ability of hydrochloric acid to dissolve carbonate rocks, for example, limestones and dolomites. The reaction products are removed from the reservoir along with the inflow of oil from the well in a suspended state. It is possible to expand the size of microcracks and channels, improving the connectivity between them by the hydrochloric acid.

Hydrochloric acid treatment under pressure (15-30 MPa) gives an opportunity to push hydrochloric acid into small and narrow pores and subsequently increase them to more permeable conditions. The reaction rate significantly decreases by pushing acid through. At the same time, the efficiency of acid treatment and the throughput of low-permeable rocks are improving [6].

Acid baths (emulsions) are used to block highly permeable rocks. Petroleum acid emulsions consist of 70% acid solution, 30% degassed oil, and heavy hydrocarbons (for example, tar or fuel oil) may also be contained there. The resulting oil-acid emulsion is pumped into the bottom-hole zone, penetrates the zones of high permeability and fills them [6].

It is worth noting that a single hydrochloric acid treatment leaves less permeable interlayers practically untreated. Hence, stepwise hydrochloric acid treatment is the rational way of oil recovery [5].

Thus, based on this review article, it is possible to identify the benefits and drawbacks of each method (Table 1).

Table 1 – Characteristics of enhanced oil recovery

Method	Benefits	Drawbacks
Water flooding	Less expensive, the simplicity of the construction of engineering communications and the ease of the water injection.	The low efficiency factor, the difficulty of retaining the necessary reservoir pressure, increased water rate due to outflow into the feeding zone, the formation of watering cones, the need for water availability, the creation of stable emulsions of oil with water.
Hydraulic fracturing	Decreasing the resistance of the downhole, increasing permeability, increasing the effective radius of the well, reducing the water content of the fluid.	Uncontrolled crack expansion, increased well flooding, high cost of implementation, inability to reuse the well, high environmental damage
Fire flooding	High efficiency of heat transfer in the reservoir and improvement of oil's properties	The consumption of part of the oil, the loss of heavy hydrocarbons, the complexity of process management, high energy costs.
Electromagnetic action	High efficiency of electromagnetic generators, high heating rate of the bottom-hole zone, demulsification of oil, reduction of the crystallization point of paraffins.	The absence of modern high-frequency installations and systems for introducing electromagnetic energy into the reservoir, high energy consumption, the need for an electrical power, the impact of radiation on staff.
Gas injection	An opportunity of using an inexpensive agent (air), the dissolution of some agents in water, the possibility of combining with other methods of oil recovery.	Hydrate formation, gas breakthrough into producing wells, reduction of injectability during the transition from one agent to another.
Acid treatment	Simplicity of technology, low cost of materials, efficiency of the method, technological development	The possibility of settlement of sediment and blockage of microcracks, the effect on properties of oil, oil consumption.

In conclusion, it must be noted that the technique of reservoir flooding and hydrochloric acid treatment stands out from other methods. Both technologies are inexpensive. The most common technology of water flooding. It is also worth considering that the use of hydrochloric acid treatment directly depends on geological conditions. The most promising method for development is the acid treatment systems. No less important to mention the electromagnetic action technology, which requires new innovative technologies and equipment. The rest of methods are unstable and high-cost, which indicates their low applicability in oil production.

Список литературы

1. Сулаев В. В. Методы повышения нефтеотдачи пластов и критерии их применимости / В. В. Сулаев//Научный альманах.–2019.–№ 8-1(58).–С.200-203. – ред. TGTMXO.
2. Орловский С. Л. Анализ методов интенсификации добычи и способов повышения нефтеотдачи пластов на Северо-Лабатюганском месторождении/С.Л.Орловский// Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения: Сборник научных трудов. Том 7 (12). – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство научно-технической литературы "Монография", 2018.–С.210-213.–ПОД ред. УУФИМИ.
3. Прокопцев В. О. Физические методы повышения нефтеотдачи пластов (обзор) / В. О. Прокопцев//Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2015. – № 3. – С. 53-60. – РЕД. TWDLNB.
4. Трофимов А.С. Газовые методы как методы повышения нефтеотдачи пластов / А.С.Трофимов, С.В.Поняев, С.В.Мигунова//Новые технологии разработки нефтяных и газовых месторождений: материалы Международного технологического симпозиума, РАГС при Президенте Российской Федерации, Москва, 17-19 марта, 2004 / Р.Г.Шагиев, М.Г.Тарасевич, М.А.Черемисин. – М.: Институт нефтегазового бизнеса, 2004. – С.399-402. – ПОД ред. HBFHCF.
5. К вопросу о выборе технологии кислотного воздействия для интенсификации добычи нефти /Ю.В.Зейгман, А.В.Лысенков, В.В.Мухаметшин [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений.–2017. – № 6. – С.44-50. – ЭДН ИРХЕХ.
6. Миннимухаметова А.А. Солянокислотная обработка скважин /А.А.Миннимухаметова // Символ науки: Международный научный журнал. – 2016. – № 8-1(20). – С. 25-27. – ЭДН ВИНВУФ.

References

1. Sulaev V.V. Methods of increasing oil recovery and criteria for their applicability / V. V. Sulaev//Scientific Almanac. – 2019. – № 8-1(58). – pp. 200-203. – EDN TGTMXO.
2. Orlovsky S.L. Analysis of methods of production intensification and methods of increasing oil recovery at the Severo-Labatyuganskoye field/S.L.Orlovsky//Oil and gas technologies and new materials. Problems and solutions: A collection of scientific papers. Volume 7 (12). – Ufa: Limited Liability Company "Publishing House of Scientific and Technical Literature "Monograph", 2018. – pp. 210-213. – EDN UUFIMI.

3. Prokoptsev V.O. Physical methods of increasing oil recovery (review)/V.O.Prokoptsev // Equipment and technologies for the oil and gas complex. - 2015. – No. 3. – pp. 53-60. – EDN TWDLNB.
 4. Trofimov A. S. Gas methods as methods of increasing oil recovery/A.S.Trofimov, S.V.Ponyaev, S.V.Migunova//New technologies for the development of oil and gas fields: Proceedings of the International Technological Symposium, RAGS under the President of the Russian Federation, Moscow, March 17-19, 2004 / R. G. Shagiev, M. G. Tarasevich, M. A. Cheremisin. – Moscow: Institute of Oil and Gas Business, 2004. – pp. 399-402. – EDN HBFHCF.
 5. On the issue of choosing acid exposure technology for oil production intensification / Yu.V.Zeigman, A.V.Lysenkov, V.V.Mukhametshin [et al.]//Geology, Geophysics and development of oil and gas fields. – 2017. – No. 6. – pp. 44-50. – EDN YRHEKH.
 6. Minnimukhametova A.A. Hydrochloric acid treatment of wells/A.A.Minnimukhametova // Symbol of Science: International Scientific Journal. – 2016. – № 8-1(20). – pp. 25-27. – EDN WINVUF.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 624.324.5

ПЕРСПЕКТИВЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОБЫЧИ МЕТАНА УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Бобриков А.И., Макавчик И.А., научный руководитель: Гулькова С.Г., научный руководитель: ¹ Минакова П.С

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В статье обосновываются перспективы использования нетрадиционных источников углеводородного газа в России на примере метана угольных пластов. Авторы статьи описывают технологические особенности добычи угольного газа. Представлено графическое изображение технического обустройства месторождения по добыче угольного газа и схема добычи метана с помощью гидроразрыва пласта.

Ключевые слова: Метан угольных пластов, нетрадиционные источники природного газа, гидроразрыв пласта, угольный газ, пропант, компрессор.

THE PROSPECTS AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF COALBED METHANE PRODUCTION

Bobrikov A.I., Makavchik I.A., scientific supervisor: Gulkova S.G., scientific supervisor: ¹ Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

In the article the prospects of using unconventional sources of hydrocarbon gas in Russia on the example of coalbed methane are discussed. The authors of the article describe the technological features of coal gas production. A graphical representation of the technical arrangement of the coal gas field and a scheme of methane extraction using hydraulic fracturing are presented.

Keywords: Coalbed methane, unconventional sources of natural gas, hydraulic fracturing, coal gas, proppant, compressor.

Coal has been the main source of energy and heat since ancient times. It was used as a fuel in heating systems, ships and trains, in the chemical industry and metals production, etc. Coal was a single source of energy over time, but the development of the gas industry undermined its attitudes. High-energy and environment-friendly natural gas has determined the vector of development of the world fuel and energy complex. Currently, challenges of natural gas reservoir engineering are strategically important. The global consumption of natural gas is increasing every year, which leads to the depletion of gas-condensate fields. That is a reason for the exploration of new promising sources of hydrocarbons. One of them most potential methane of coal deposits.

Methane extraction at the early stages of coal deposits development will not only open new perspectives of expansion hydrocarbon gas resources and reduce the gas hazard of coal mining in future, but will also create new jobs at gas fields and gas processing plants.

Nowadays, scientists have already made an assessment of coalbed methane reserves, which are estimated to be about 30% of Russia's natural gas resources. Thus, coalbed methane has great prospects for development, production and processing [2]. The USA, Canada, Australia and some other countries have practical knowledge in the technical application of coal gas.

The development of unconventional hydrocarbons is becoming an important new area of global energy development. According to the data, published by the International Energy Agency, unconventional gas production in 2010 was estimated to be 485 billion m³ (15% of world production), and according to the forecast for 2035 will increase to 956 billion m³ (Table 1) [4].

Hopeful geological settings of gas-bearing coal basins in Russia are an objective prerequisite for the initiation of large-scale methane production as standalone products. It is important to note that the Kuznetsk coal basin, located in the south of Western Siberia, is one of the largest in the world and contains large reserves of gas [3].

Currently, there are three main ways to extract methane from coal seams:

- coal mine degasification, which reduces the volume of methane released into the mine workings. In this case, coal gas of varying concentrations is considered to be an associated mineral;
- methane extraction by drilling special wells from the surface using artificial methods of increasing gas permeability of coal seams. This direction is a promising method of obtaining gas with high (75-95 %) stable methane content for wide application in the national economy;
- methane extraction from abandoned mines.

Table 1 – The forecast of global unconventional gas production [4]

Countries	Unconventional gas production forecast, billion m ³					Percentage in 2035, %
	2015	2020	2025	2030	2035	
North America, including:	482,8	511,6	572,6	634,9	595,5	72,8
U.S.	418,4	441,6	485,8	520,1	561,2	56,7
Canada	64,4	57,2	81,2	103,6	117,6	12,3
Mexico	0,0	2,8	5,5	11,2	16,5	1,8
Central and South America, including:	0,0	0,0	0,0	14,0	33,5	3,5
Brazil	0,0	0,0	0,0	5,5	14,0	1,5
Middle East	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,3
Africa	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,3
Europe	0,0	0,0	11,2	19,5	30,8	3,2
Asia-Pacific region, including:	11,2	19,5	47,6	106,4	190,4	19,9
Australia, New Zealand	2,8	5,6	8,4	14	30,8	3,2
China	8,4	8,4	22,4	56,0	36,8	9,1

India	0,0	0,0	2,8	5,6	6,4	0,9
Russia	0,0	0,0	0,0	2,8	11,2	1,2
Total in the world	494,0	531,2	631,4	774,9	956,0	100,0

Technical features of coalbed methane extraction are related to processes of gas gathering and gas transport to the surface by compressors (Figure 1) [1].

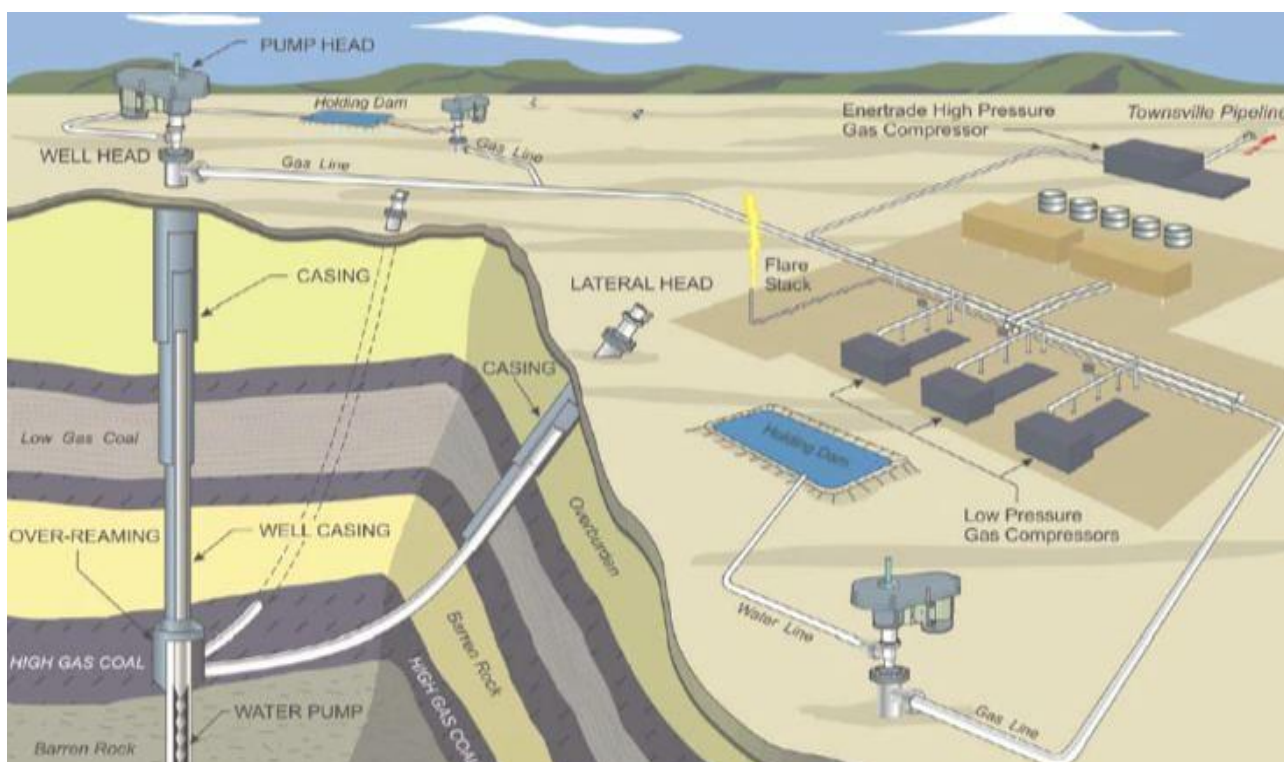


Figure 1 – Coalbed methane extraction

Source: Tagiev S.M. Coalbed methane production in the world and prospects of production in Kuzbass // Materials of XI International Research and Practice Conference. – Sheffield UK, 2015. V. 10. – pp. 77-80.

In such cases, vertical wells are drilled from the surface to reach the coal seams. The next step is a drilling of inclined-horizontal wells in the direction of the minefield extension. Such a method makes it possible to produce about 60% of coal gas, due to the low flow rate of the wells.

A variety of stimulation techniques, such as hydraulic fracturing, enable to increase the amount of produced gas (Figure 2).

Hydraulic fracturing is a special process of injecting liquid or gaseous fluid into the reservoir at a high pressure to cause breakdown of the formation.

Adding a special substance to the fracturing fluid is the next step of the hydrofracturing process. This is necessary in order to prevent the cavities from closing. Natural sands and artificial ceramic proppants are used as propping materials. At the same time, quartz sand is widespread as a proppant due to its availability and inexpensiveness [1].

Sand feed-through is essential both in newly created and existing cavities in the reservoir. After extraction, methane is purified from mechanical impurities (coal dust and sand), as well as water,

harmful gases, and others. The purified gas can then be transported by gas pipeline to a processing plant or to a small-scale natural gas liquefaction plant installed near the field. LNG production close to the production site will be able to provide industrial facilities with the fuel. Moreover, such LNG-fuel could be the basis of outlying regions gasification.

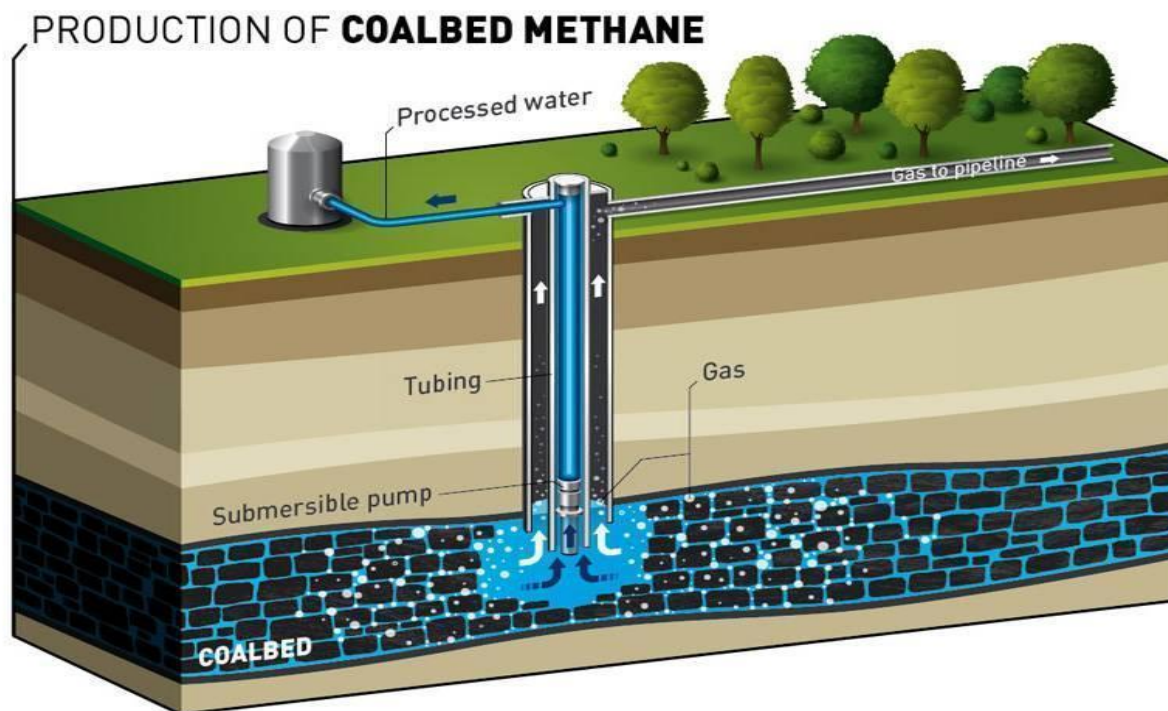


Figure 2 – Hydraulic fracturing for coal gas extraction

Source: Arkhipov, I.A. Analysis of technologies of methane extraction from coal reservoirs // GIAB. 2020. №6-1.

Consequently, it can be mentioned that coalbed methane production is a promising direction for Russia energy sector. Despite the associated problems, such as technological complexity, high price and environmental aspects, coalbed methane can act as a broadening hydrocarbon source for the chemical and gas processing industries, significantly reducing the load of conventional natural gas fields.

Список литературы

1. Интернет-журнал "Neftegaz.RU". Метан угольных пластов. [URL]: <https://neftegaz.ru/tech-библиотека/энергоресурсы-топливо/141742-метан-угольных-пластов/> (дата обращения: 29.10.2023).
2. Официальный сайт ПАО "Газпром". [URL]: <https://www.gazprom.ru/about/production/extraction/metan/> (дата обращения: 29.10.2023).
3. Тагиев С.М. Добыча метана из угольных пластов в мире и перспективы добычи в Кузбассе // Материалы XI Международной научно-практической конференции. – Шеффилд, Великобритания, 2015. Т. 10. – С. 77-80.

4. Архипов И.А. Анализ технологий добычи метана из угольных пластов // ГИАБ. 2020. №6-1. [URL]: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tehnologiy-izvlecheniya-metana-ugolnyh-plastov> (дата обращения: 09.11.2023).

References

1. Online magazine "Neftegaz.RU". Coalbed methane. [URL]: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/141742-metan-ugolnykh-plastov/> (date of reference: 29.10.2023).
 2. Official website of PJSC Gazprom. [URL]: <https://www.gazprom.ru/about/production/extraction/metan/> (date of reference: 29.10.2023).
 3. Tagiev S.M. Coalbed methane production in the world and prospects of production in Kuzbass // Materials of XI International Research and Practice Conference. – Sheffield UK, 2015. V. 10. – pp. 77-80.
 4. Arkhipov, I.A. Analysis of technologies of methane extraction from coal reservoirs // GIAB. 2020. №6-1. [URL]: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-tehnologiy-izvlecheniya-metana-ugolnyh-plastov> (date of reference: 09.11.2023).
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.64

ПРИМЕНИМОСТЬ МИКРОВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ОПЕРАЦИЯХ СЛИВА ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Ивашенко В.Е., Ивашенко В.А., научный руководитель: Куличков С.В., научный руководитель: ¹ Минакова П.С

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В обзорной статье описаны основные трудности при совершении операций по сливу высоковязких нефтепродуктов с железнодорожных цистерн при применении подогрева сырья водяным паром. Рассмотрена теоретическая основа действия микроволнового излучения и его применимость в рамках разработки системы нагрева нефтепродуктов. Экспериментально описаны перспективы сравнения микроволнового и ультразвукового воздействия на экспериментальной основе для разработки системы подогрева сырья на ЖД эстакаде в Дальневосточном округе.

Ключевые слова: Железнодорожная цистерна, слив высоковязких нефтепродуктов, подогрев водяным паром, микроволновое излучение, нефтепродукты, ультразвуковой эффект.

PRACTICAL APPLICATION OF MICROWAVE EFFECT IN UNLOADING OPERATIONS OF HIGHLY VISCOUS OIL PRODUCTS

Ivashchenko V.E., Ivashchenko V.A., scientific supervisor: Kulichkov S.V., scientific supervisor: ¹ Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

The article describes the main difficulties in unloading operations of highly viscous oil products from tank-cars by the use of the steam heating. The theoretical basis of the microwave emission and its applicability in the engineering of a reheating system for petrochemicals are considered. Prospects of comparing microwave and ultrasonic effects for the development of a reheating system for petrochemicals tank cars in the Far Eastern District are provided.

Keywords: Tank-cars, unloading of highly viscous oil products, steam heating, microwave emission, petrochemicals, ultrasonic effect.

The oil's applicability as a raw product for fuels is undoubtedly an important aspect for the existence of modern industry. Petrochemicals are used not only as fuel for transport and heat power plants, but also as lubricating agents to increase the durability of the parts of the unit. The main problem related to highly viscous oil products is its transportation and unloading operations.

Transportation of petrochemicals from refineries to the point of consumption is carried out by rail and road. Railway transport is more acceptable for long distances on the basis of economic analysis. Oil products usually are transported in car tanks (Figure 1).

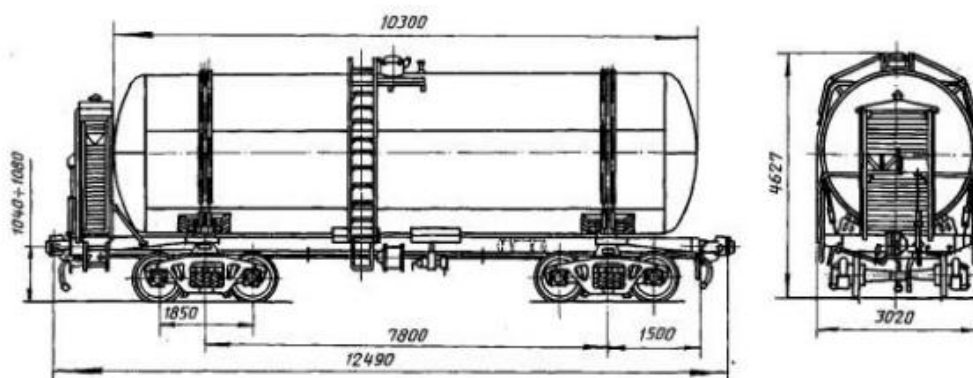


Figure 1 – Four-axle tank for oil and petroleum products with a brake platform model “15-Ц864”

Source: Specialized tanks for the transportation of hazardous materials -Reference manual / Ministry of Railways and Communications

The Russian Federation has unique climate conditions due to an impressive territory. The climate in many subjects can be harsh. Climatology, in turn, complicates commercial unloading operations of highly viscous oil products (for example, various grades of fuel oil, tar, semi-tar, compressor or aviation oil) by tank-cars with a boiler volume of 50 to 60 m³. The discharge of these oil products is carried out through the low hole with reheating of the tank under the temperature below 0 ° C. Paraffin and high-paraffin oil products are heated at 10 ° C or more above their solidification temperature. Heating is performed by steam supplied to the lower point of the tank or its supply through the upper hole of the tank for the transportation.

The unloading of heavy oils and highly viscosity petroleum products in the cold season is a labor- and energy-intensive operation running over 10 hours. The standard method of the product's reheating by steam carries a fairly large number of drawbacks. Firstly, a large loss of heat-intensive agent and a large water consumption are observed. Secondly, a consumption of steam for heating the steel shell of the tank and heat exchange with the environment increases heat losses of the system. Thirdly, when the lower part of the tank is heated, the contact layer of the petrochemicals with the inner wall of the tank is overheated [2]. Based on the above-mentioned problems the applicability of the method of microwave reheating of the product is proposed in this paper.

For the sustainable use of energy, it is possible to consider volumetric thermal effect (microwave heating). The microwave region of the electromagnetic radiation is called the frequency range from 300 GHz to 300 MHz (wavelength range from 1 mm to 1 m), which is located in the interval between infrared and radio frequency. A more scientific term for "microwaves" is the term "super-high frequency" or "SHF" [3].

The following benefits of microwave heating in comparison with traditional (contact heating) are distinguished on its physical basis:

- 1) Uniformity of heating. The polarization process occurs in the entire volume, due to the uniform effect of the electric field on the substance i.e., the heating process occurs in each conditional part of the body.
- 2) Decrease in heating time. To eliminate the temperature gradient of the substance in traditional heating methods (from the edge to the middle of the body), the process of

thermal exposure is increased. In most cases, it is possible to avoid overheating of the surface layers of the processed material only due to slow heating. At the same time, the microwave heating occurs evenly, the time of the temperature increase process is significantly reduced.

- 3) High efficiency of conversion of microwave energy into thermal energy. Heat losses in the supply paths and working heating chambers, due to the originality of the technology, are small. That is why the theoretical value of the efficiency is close to 100%.
- 4) Ecological cleanliness. Firstly, the temperature of the walls of the heating chambers remains almost unchanged, which significantly reduces the thermal impact on the environment. Secondly, this technology does not involve the actual flammable materials (firewood, coal, liquid or gaseous fuel), which significantly reduces the smoke and heat emissions into the atmosphere. Thirdly, the technology does not use any kind of burners, which eliminates the formation of carbon deposits on the equipment and the combustion chamber.
- 5) The possibility of regulating the heating temperature by changing the power of the microwave emitter. A well-known example of heating regulation is found by everyone in daily living - a household microwave oven.
- 6) Thermal inertiality – the possibility of almost instantaneous switching on and off of thermal effects on the processed material. Hence the high accuracy of the heating process adjustment and its reproducibility are observed.
- 7) Selective heating. The heating happens only in parts of the system with high values of dielectric losses are heated.

In this particular case, the temperature increase occurs with the help of an electromagnetic field without contact of the emitter and the object. Polarization is the directional movement of bound electric charges and the reorientation of dipole molecules along the field lines of force, which occurs in the substance in an artificial alternating electromagnetic field. Thus, heat transfer proceeds not by the contact of the heated object with the substance, but due to the movement of molecules. Therefore, the heated body (oil product) is reheated throughout the entire volume.

When the magnetron (emitter) is located in the tank, for example, in a suspended state and pushed through the upper hole, the possibility of thermal influence on the oil product will appear. The walls of the steel tank, in the following case, will serve as a barrier to preserve the wave inside the tank volume, it will not release the microwave wave outside. The schematic diagram of the process is shown (Figure 2).

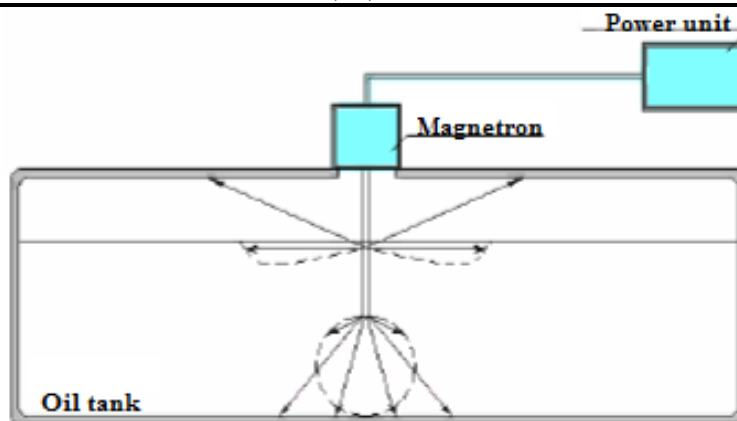


Figure 2 – Schematic diagram of the microwave reheating for the unloading of oil products
Source: Galanov Evgeny Konstantinovich, Yakovenko Evgeny Konstantinovich, Filatov Maxim Konstantinovich, Kytin Yuri Alexandrovich The use of microwave and IR radiation to improve the efficiency of heavy oil discharge // News of the St. Petersburg University of Railway Transport.

The main advantages of this technique are: high efficiency of the heating process, inertiality when the magnetron (emitter) is turned off, heating speed, uniform heating (without overheating of the contact layer).

To draw the conclusion, it is necessary to mention that an experiment will be conducted as a part of the project. It will allow us to confirm and develop a microwave heating system for petrochemicals within a stationary tank-car for unloading operations which will be suitable for the oil and gas industry of the Far East. Moreover, the research provides us with an opportunity to make a comparative analysis with other innovative methods of heating oil products (for example, ultrasonic treatment) according to the characteristics of the processing time, the efficiency of the method, environmental safety and applicability in the Far Eastern District.

Список литературы

1. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов - Справочное руководство / Министерство путей сообщения – М: Издательство стандартов – 1993 – 251 с.
2. Балалаев, А. Н. Экспериментальные исследования устройства для подогрева и слива вязких жидкостей из железнодорожных цистерн / А. Н. Балалаев, А. Ю. Феклистов // Вестник транспорта Поволжья. – 2009. – № 4(20). – С. 38-43. – ИЗД-ВО МНИЛМН.
3. Рахманкулов, Д.Л. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов / Д.Л. Рахманкулов, И.Х. Бикбулатов, Н.С. Шулаев, С.Ю. Шавшукова. – М.: Химия, 2003. – 220 с.
4. Галанов Евгений Константинович, Яковенко Евгений Константинович, Филатов Максим Константинович, Китин Юрий Александрович Использование микроволнового и ИК-излучения для повышения эффективности слива тяжелой нефти // Известия Санкт-Петербургского университета железнодорожного транспорта. 2006. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-svch-i-ik-izlucheniya-dlya-povysheniya-effektivnosti-sliva-tyazhyolykh-neftey> (дата обращения: 29.10.2023).

5. Фитцнер Артем Федорович Существующие методы использования энергии СВЧ в нефтегазовом бизнесе // Вестник науки и образования. 2018. №11 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschestvuyuschie-sposoby-primeneniya-mikrovolnovoy-energii-v-neftegazovom-dele> (дата обращения: 29.10.2023).

References

1. Specialized tanks for the transportation of dangerous goods -Reference manual / Ministry of Railways and Communications – М: Publishing House of Standards – 1993 – 251 p.
 2. Balalaev, A. N. Experimental studies of a device for heating and draining viscous liquids from railway tanks / A. N. Balalaev, A. Yu. Feklistov // Bulletin of Transport of the Volga region. – 2009. – № 4(20). – pp. 38-43. – EDN MNILMN.
 3. Rakhmankulov, D.L. Microwave radiation and intensification of chemical processes / D.L. Rakhmankulov, I.H. Bikbulatov, N.S. Shulaev, S.Y. Shavshukova. – М.: Chemistry, 2003. – p.220
 4. Galanov Evgeny Konstantinovich, Yakovenko Evgeny Konstantinovich, Filatov Maxim Konstantinovich, Kytin Yuri Alexandrovich The use of microwave and IR radiation to improve the efficiency of heavy oil discharge // News of the St. Petersburg University of Railway Transport. 2006. No.2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-svch-i-ik-izlucheniya-dlya-povysheniya-effektivnosti-sliva-tyazhyolyh-neftey> (accessed: 29.10.2023).
 5. Fitzner Artem Fedorovich Existing methods of using microwave energy in oil and gas business // Bulletin of Science and Education. 2018. No.11 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschestvuyuschie-sposoby-primeneniya-mikrovolnovoy-energii-v-neftegazovom-dele> (accessed: 29.10.2023).
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 66.681

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В КАЧЕСТВЕ СПОСОБА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НА КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ

Малыш М.А., Алексеенко Н.В., научный руководитель: Слесаренко В.В., научный руководитель: ¹Минакова П.С.

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В работе представлено применение парогазовых установок в качестве способа утилизации тепла газотурбинных установок (ГТУ) на компрессорных станциях. ГТУ были выделены, как основные источники энергии среди вторичных энергетических ресурсов на КС с точки зрения возможности преобразования ее в полезную механическую или электрическую. Предложено использовать парогазовую установку с котлом утилизатором с целью нивелирования потерь тепла, уносимого отработавшими газами ГТУ.

Ключевые слова: Газотурбинная установка (ГТУ), компрессорная станция (КС), парогазовая установка (ПГУ), отработавшие газы, котел-утилизатор, водяной пар, конденсатор.

APPLICATIVE USAGE OF COMBINED CYCLE GAS TURBINES AS A DISPOSAL METHOD OF GAS TURBINE HEAT AT GAS-COMPRESSOR STATIONS

Malysh M.A., Alekseenko N.V., scientific supervisor: Slesarenko V.V., scientific supervisor: ¹Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

Article presents an applicative usage of combined cycle gas turbine at gas-compressor stations as a method of heat utilization of gas turbine. Gas turbine units (GTU) were identified as a basic energy source among secondary resources at compressor stations by means of its conversion into useful mechanical or electrical energy. Utilizing a combined cycle gas turbine unit with a utilizer-boiler in order to minimize heat losses carried away by GTU exhausted gases is suggested.

Keywords: Gas turbine unit (GTU), gas-compressor station (GCS), combined cycle gas turbine (CCGT), exhausted gases, recovery boiler, water vapor, refrigerator.

Nowadays, gas transport is an essential part of Russian energy sector. Anyway, industrial development in the domestic energy sector is fraught with difficulties. Specifically, Russian natural gas industry leads the list of energy-consuming spheres, especially due to the heavy energy demand for gas compressing. Most of the supplied heat is carried away into the atmosphere in the form of exhausted gases (about 60%). Thus, waste of useful energy at gas-compressor stations is a

considerable issue. Thermal losses in gas turbine units, according to sources [1,2,3], can vary from 80 to 100 GW.

It is worth mentioning that GTUs are not the only heat sources at GCSs. There are secondary production sites with a large amount of by-product energy resources (SER). Such energy sources are distinguished by huge amounts of energy for the usage of utilization into mechanical and electrical energy:

- oil cooling system used for leveling the friction force of dynamic units of technological equipment;
- heat exchangers, adsorbers and separators used for liquefaction and purification of natural gas;
- recirculated water for temperature control of process main equipment;
- exhaust systems of process areas [4].

Derived energy from GTUs, most commonly, is used as a heat transfer agent in water boiling processes in heating installation and engineering systems of GCSs or rarely for the needs of nearest settlements (the drawback is seasonality of this method). Flow diagram is presented in Figure 1.

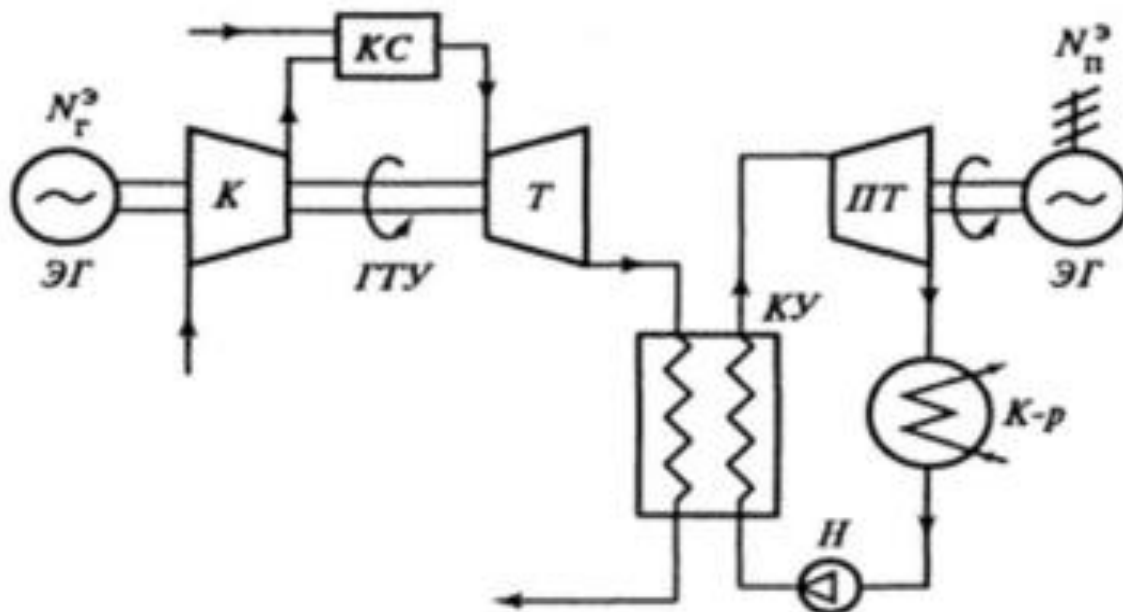


Figure 1 – Flow diagram of CCGP with recovery boiler:

ЭГ - generator; К - GTU compressor; КС - GTU combustion chamber;
Т - GTU gas turbine; Н - feed pump; КУ - recovery boiler; ПТ - steam turbine; К-р - refrigerator [1].

Source: Timoshenko, D. V. Possibility of superstructure of gas turbine units of gas pumping units with utilisation combined cycle gas turbine units / D. V. Timoshenko, V. O. Remeslovskiy

The process works as follows:

1. GTU's exhausted gases carry away thermal energy into the recovery boiler, which is essentially a simple heat exchanger;
2. Vapor-water working substance gains heating energy through the recovery boiler;
3. The obtained water vapor is sent directly to the steam turbine plant (STP);

4. The water vapor expands and does a mechanical work, mainly acting as a catalyst for the current generators in the steam turbine plant;
5. Finally, vapor sets in the refrigerator and extracts in a cycle for its pretreatment and return to the recovery boiler.

Technical and thermal specification of the most common gas turbines currently used at gas-compressor stations is shown in Table 1. The values presented in the table confirm the above-mentioned data about high flow rate of GTU's exhausted gases and significant value of their temperature.

Table 1 – Technical and thermal specification of gas turbine units [5]

Version of GTU	Number of units	Energy consumption, MW	Efficiency factor, %	Flow rate of exhaust gases, kg/s	Temperature of exhausted gases, °C
GTK-10	646	10	32	86	303
NK-16ST	618	16	29	103,1	378
NK-12ST	322	6	26,1	57,6	302
DR-59L	268	10	28,5	81,5	330

Source: Karyshev, A. K. *Perspective technologies of heat utilisation of exhausted gases of gas pumping units* / A. K. Karyshev, A. A. Zhinov, D. V. Shevelev

Modifications of combined GTU and turbine cycles called STIG-installations also can be applied at gas-compressor stations. The basis of their work is to affect the exploitation of gas turbines by injecting steam into the feed gas. At the same time, this technology is not identical from the CCGT for utilization of exhaust gases. The main objective is to increase turbine power by 25% and to reduce NO_x concentration in exhaust gases [6]. The flow diagram of STIG unit operation is shown at figure 2 (Figure 2).

The main disadvantage of STIG-cycle implementation at combined usage of GTU and CCGT is the necessity to have a constant supply of fresh water and a treatment plant for its purification and injection at a given volume, which can change all the time. Nevertheless, it is worth noting that nowadays STIG systems are an actively studied and experimentally developed area of gas turbine heat utilization development. In the near future, they may become the most economically and environmentally developed solution for supporting efficient maintenance of power plants.

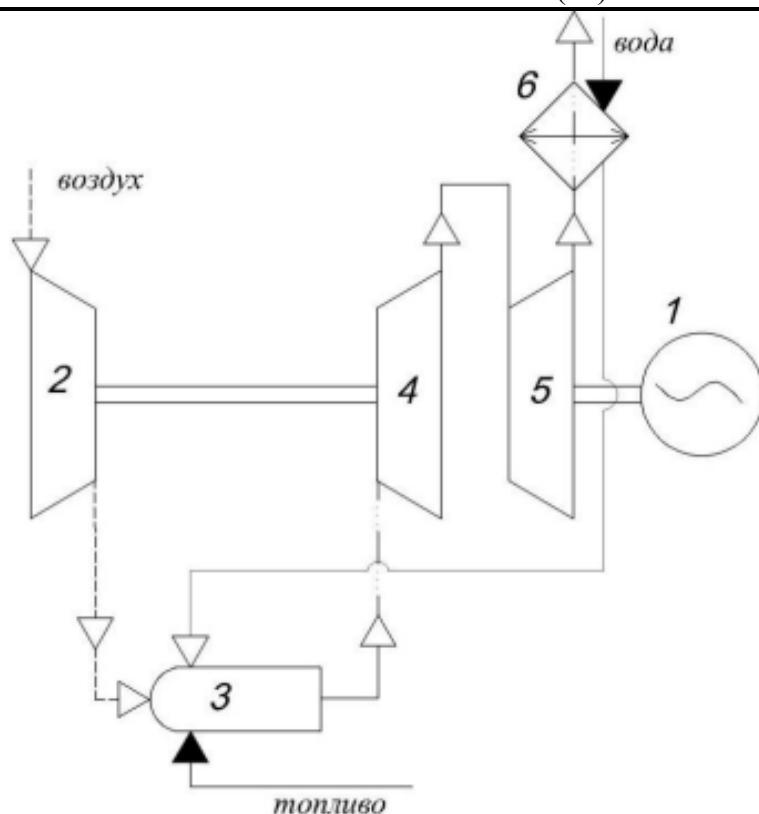


Figure 2 – Flow diagram of STIG unit operation:

- 1 - energy consumer; 2 - compressor; 3 - combustion chamber; 4 - high-pressure turbine; 5 - low-pressure turbine; 6 - CCGT [7]

Source: Liefer, D. S. *State and prospects of development of steam-gas plants with steam injection* / D. S. Liefer, A. I. Samsonov

As a reference point for further development of the STIG-cycle, it is possible to point out the introduction of a heat pump into the process, which is able to improve the technological base of the plant exploitation, due to the possibility of decreasing heat losses in the refrigerator. Heat preservation leads to the growth the efficiency of the combined heat and power plant. In that case, the operation of heat pump will occur as follows: the cooling agent removes heat from the condenser, compresses in the compressor, increases the temperature and gives off heat in the evaporator.

Nevertheless, drawback of steam-gas units for utilization of heat energy are worth discussion. First of all, the low efficiency factor of the steam turbine part. The reason behind this are insufficient initial parameters of vapor and low efficiency of the refrigerator. Also, steam turbine is rather expensive and complicated in exploitation due to a large number of operating units.

The above-mentioned facts led to the development of alternative methods by scientists and engineers. As an option, the use of utilization gas turbine units (UGTU) was proposed in research papers.

In conclusion, we can say the problem of oil and gas industry - the usage of by-product heat energy resources at gas-compressor stations was discussed and a result, gas turbine units were reasonably selected as the most high-potential source of secondary energy. In the article a detailed explanation of CCGT's utilization at gas-compressor stations with a recovery boiler for conversion of heat energy. Is given the most wide spread way of useful energy application is seasonal heating of

technological sites of gas-compressor stations.

Список литературы

1. Тимошенко Д. В. Возможность надстройки газотурбинных установок газоперекачивающих агрегатов за счет использования парогазовых установок / Д. В. Тимошенко, В. О. Ремесловский // Ученые записки ТОГУ. - 2023. - Т. 14, № 2. - С. 158-165.
2. Забелин Н. А., Лыков А. В., Рассохин В. А. Оценка располагаемой теплоемкости отработавших газов газоперекачивающих агрегатов единой системы газоснабжения России. // Научно-технические бюллетени Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 4-1 (183). 2013. С. 136-143.
3. Тумашев Р. З. Повышение эффективности компрессорных станций магистральных газопроводов Р.З.Тумашев, В.Д.Моляков, Ю.Л.Лаврентьев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия "Машиностроение". - 2014. - № 1(94). - С. 68-79.
4. Меженина А. С. Утилизация вторичных энергоресурсов на компрессорных станциях магистральных газопроводов / А. С. Меженина // Международный студенческий научный вестник. - 2016. - № 2. - С. 135.
5. Карышев А. К. Перспективные технологии утилизации тепла отходящих газов газоперекачивающих агрегатов /А.К.Карышев, А.А.Жинов, Д.В.Шевелев // Электронный журнал: наука, техника и образование. - 2015. - № 4(4). - С. 12-21.
6. Паепе М. де Дик Э. Технологический и экономический анализ рекуперации воды в газовых турбинах с впрыском пара // Прикладная теплотехника. 2001. N. 21. С. 135-156.
7. Лифер Д. С. Состояние и перспективы развития парогазовых установок с нагнетанием пара / Д. С. Лифер, А. И. Самсонов // Вестник инженерной школы Дальневосточного федерального университета. - 2012. - № 2(11). - С. 14-20.

References

1. Timoshenko, D. V. Possibility of superstructure of gas turbine units of gas pumping units by utilization combined cycle gas turbine units / D. V. Timoshenko, V. O. Remeslovskiy // Scientific Notes of TOGU. - 2023. - Т. 14, № 2. - pp. 158-165.
2. Zabelin N. A., Lykov A. V. V., Rassokhin V. A. Estimation of the available heat capacity of exhausted gases of gas pumping units of the unified gas supply system of Russia. // Scientific and Technical Bulletins of St. Petersburg State Polytechnic University. 4-1 (183). 2013. pp. 136-143.
3. Tumashev R.Z. Increasing the efficiency of compressor stations of main gas pipelines / R. Z. Tumashev, V. D. Molyakov, Y. L. Lavrentiev // Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Machine Building Series. - 2014. - № 1(94). - pp. 68-79.
4. Mezhenina A.S. Utilization of secondary energy resources at compressor stations of main gas pipelines / A. S. Mezhenina // International Student Scientific Bulletin. - 2016. - № 2. - pp. 135.
5. Karyshev A.K. Perspective technologies of the exhaust gas heat utilization of gas pumping units / A.K.Karyshev, A.A.Zhinov, D.V.Shevelev // Electronic journal: science, technology and education. - 2015. - № 4(4). - pp. 12-21.
6. Paepe M. de Dick E. Technological and economic analysis of water recovery in steam injected

Малыш М.А. и др. Практическое применение парогазовых установок в качестве способа утилизации тепла газотурбинных установок на компрессорных станциях // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8 № 11(37) с. 56–61

gas turbines // Applied Thermal Engineering. 2001. N. 21. pp. 135-156.

7. Liefer, D. S. State and prospects of development of steam-gas installations with steam injection / D. S. Liefer, A. I. Samsonov // Bulletin of Engineering School of Far Eastern Federal University. - 2012. - № 2(11). - pp. 14-20.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 66.078

РАЗВИТИЕ РОССИЙСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ КРУПНОТОННАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Платонов В.И., Че В.С., научный руководитель: Гульков А.Н., научный руководитель: ¹Минакова П.С.

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В статье описывается состояние российской индустрии производства сжиженного природного газа. Анализируются перспективы производства данного вида энергоресурса в России, описывается необходимость разработки собственных технологий сжижения газа в связи с уходом из страны зарубежных компаний. Описываются примеры иностранных технологий на российских СПГ-заводах. Приводится характеристика запатентованных отечественных технологий получения сжиженного газа.

Ключевые слова: Сжиженный природный газ (СПГ), смешанный хладагент, каскадный процесс, C3MR, DMR, Арктический каскад, Арктический микс.

THE EXPANSION OF RUSSIAN TECHNOLOGIES FOR LIQUEFIED NATURAL GAS LARGE TONNAGE PRODUCTION

Platonov V.I., Che V.S., scientific supervisor: Gulkov A.N., scientific supervisor: ¹ Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

The article decomposes the status of the Russian liquefied natural gas production industry. The prospects of this type of energy source in Russia are analyzed. The relevancy of domestic liquefaction technologies in the context of the withdrawal of foreign companies from the Russian market is described. Examples of foreign technologies at Russian LNG plants are described. The article characterizes patented domestic technologies of liquefied gas production. Moreover, patented Russian technologies of liquefied gas production are defined.

Keywords: Liquefied natural gas (LNG), mixed refrigerant, cascade process, C3MR, DMR, Arctic Cascade, Arctic Mix.

The state of Russian natural gas export has significantly changed since the early 2010s. The production of liquefied natural gas (LNG) is the fastest-growing and potentially productive in Russia's oil and gas industry despite the expansion of the natural gas network and the increment of supply to the Asia-Pacific markets. According to the forecasts, Russian LNG supplies will reach 105 billion cubic meters per year and will equal the level of pipeline gas deliverables by 2030 [2]. Nowadays Russia sits at 4th place in the global LNG market.

The prime producers of liquefaction equipment and technologies at Russian LNG plants were foreign companies, such as Linde and Shell until 2022. However, they had to leave the country due

to European and American sanctions against Russia's oil and gas area. Foreign LNG production (including low tonnage processing) solutions are used in 80 percent of Russian plants (table 1) for 2023 [1].

Table 1 – Technological solutions for Russian LNG plants

Technology	Licensor	Description of the method	Production rate	Применение в России
DMR (Double Mixed Refrigerant)	Shell	Cooling of natural gas by two mixed refrigerant streams including nitrogen and light hydrocarbons	2-5 МТРА	«Sakhalin-2»
C3MR (Propane Precooled Mixed Refrigerant)	Air Products & Chemicals Inc. (APCI)	Liquefaction by propane precooling and following cooling with mixed refrigerant in a spiral coil-wound heat exchanger	greater 5 МТРА	«Yamal-LNG» (3 LNG trains)
MFC (Mixed Fluid Cascade Process)	Linde	Stepped liquefaction of gas by mixed refrigerant (cascade process) on three cooling lines	greater 4,3 МТРА	«Arctic LNG-2» (modification MFC4), «RusChimAlliance» (until 2022)
LIMUM3 (Linde Multistage Mixed Refrigerant)	Linde	Three-stage liquefaction in coil-wound heat exchangers with different mixed refrigerant flows	no greater 2,5 МТРА	LNG plant «Portovaya»

Hence the conclusion can be drawn that the development of domestic natural gas liquefaction cycles is a high-priority task for the Russian energy field. Unfortunately, an active designing of the domestic cooling systems of natural gas liquefaction started only in the 2010s.

The only one Russian implemented LNG technology is an Arctic Cascade cycle process designed as a part of 4th LNG train of «Yamal-LNG» plant (Figure 1)

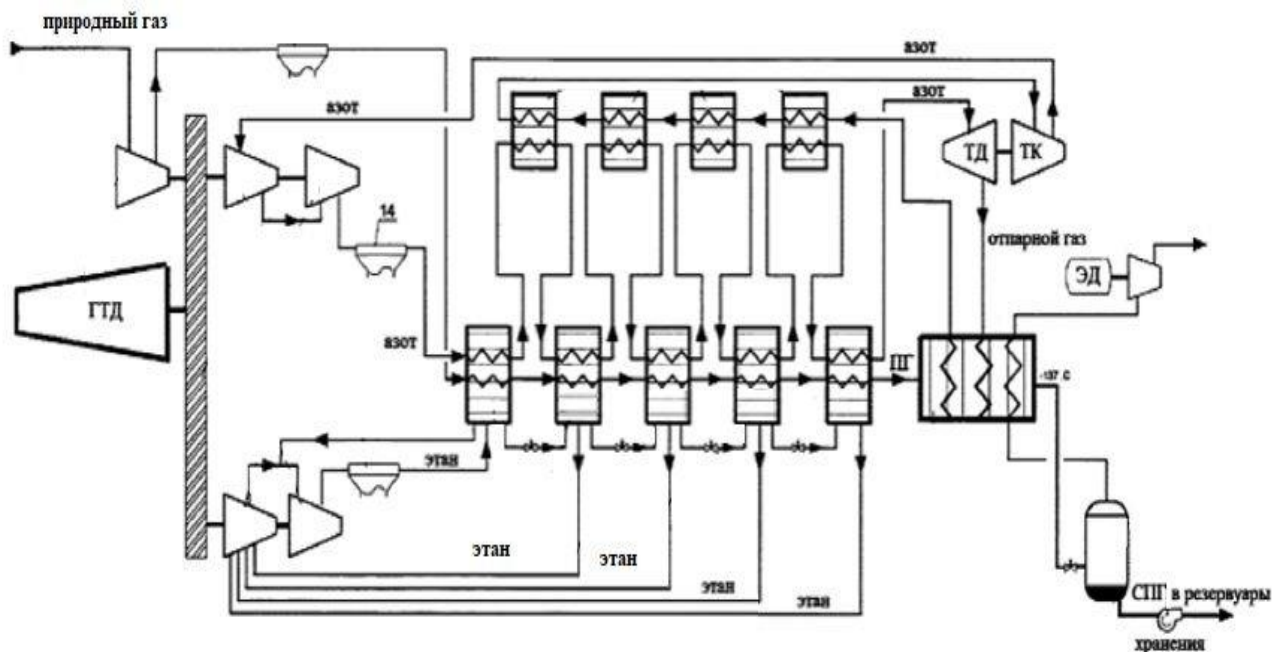


Figure 1 – Process flow scheme of the Arctic Cascade cycle process [3]

Source: Patent of the Russian Federation №2017108800

The advantage of this technology is the step-by-step cooling with pure refrigerants: ethane (extracted from feed gas) and nitrogen, as well as the use of arctic temperatures for cooling at the first liquefaction stage. The process reduces the energy costs of LNG production to 220 kW/t of LNG.

The technology includes the following technological steps:

- Step-by-step gas treatment: separation of mechanical impurities, removal of mercury, acid gas, gas dehydration, and separation of heavy hydrocarbons (if necessary);
- Pre-cooling (by Arctic air or water) and ethane extraction (for use as a pure refrigerant in liquefaction);
- Re-cooling of the gas by nitrogen;
- Pressure reduction and separation of non-liquefied gas;
- LNG storage and offloading.

However, at the Eastern Economic Forum 2021, Leonid Mikhelson, head of “NOVATEK”, stated that the running of 4th «Yamal-LNG» train was unstable due to domestic equipment. An operator of the field had to revise its plans for the Obsky LNG project and postpone it until 2024-2025. By experience of Yamal-LNG exploitation, “NOVATEK” patented the "Arctic Cascade Modified" technology, as well as its analog without using the nitrogen subcooling ("Polar Star") [3].

In 2023, “NOVATEK” developed a natural gas liquefaction technology, called «Arctic Mix» (Figure 2).

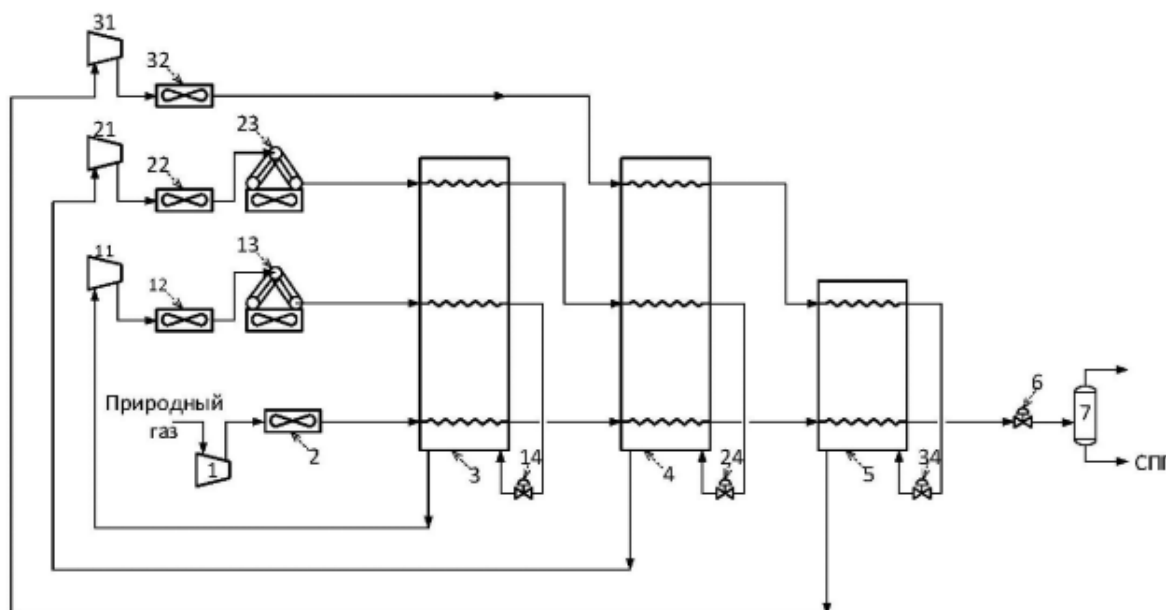


Figure 2 – Process flow scheme of the Arctic Cascade cycle process [4]

Source: Patent of the Russian Federation №2023103701

The main difference from the Arctic Cascade is the self-sufficiency of cycle. It can be applied in any environmental conditions. Moreover, the production rate of plant increases (greater 6 MTPA). Natural gas enters the liquefaction section and is cooled by a mixed refrigerant from the heat exchangers in several streams with different pressures and temperatures. The technical result of technology is an enhanced stability of exploitation (in comparison with the cascade process) [4]. “NOVATEK” expects the usage of this cycle for the implementation of Murmansk LNG plant project. In addition, the spread of the technology will allow “NOVATEK” to act as a licensor in the designing of domestic LNG projects to replace foreign companies that have left. Consequently, it will increase production safety and sustainability of the LNG industry in Russia.

In conclusion, it can be stated that development of Russian LNG production technologies and processes is expanding more slowly than the need for such technologies. However, we also agree that sanction pressure and inaccessibility of foreign methods of gas liquefaction gives us a chance to focus on domestic research and experimental development. Besides, it will allow our country not only to hold a high level of LNG supply, but also to increase the quantity of LNG exported to global markets. “NOVATEK” experience has shown the promising potential of domestic technologies and the possibility of effective import substitution in crisis situations.

Список литературы

1. Федорова, Е. Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование / Е. Б. Федорова. - Москва: Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2011. - 159 с. - ISBN 978-5-91961-045-8. - ПОД ред. QNFHLH.

2. Г. Смирнов. Экспорт трубопроводного газа из России сократится в 1,5 раза в 2023 году. Куда можно перенаправить это сырье. Электронный новостной портал РБК. [URL]: <https://www.rbc.ru/business/07/08/2023/64ccd4b29a79472f1bdd75db> (дата обращения: 28.10.2023).
3. Патент Российской Федерации №2017108800, 16.02.2018. Способ сжижения природного газа с использованием цикла высокого давления с предварительным охлаждением этаном и повторным охлаждением азотом "Арктический каскад" и установка для его осуществления // Патент России № RU 2645185 C1. 2018. / Минигулов Р.В., Руденко С.В., Васин О.Е. [и др.] / Публичное акционерное общество "НОВАТЭК".
4. Патент Российской Федерации №2023103701, 17.02.2023. Способ сжижения природного газа // Патент России № 2023103701. RU 2797608 C1. 2023. / Руденко С.В., Федосеев П.О., Рязанов Т.Е. [и др.] / Публичное акционерное общество "НОВАТЭК".

References

1. Fedorova, E. B. Modern state and development of the world industry of liquefied natural gas: technologies and equipment / E. B. Fedorova. - Moscow: Russian State University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin, 2011. - 159 с. - ISBN 978-5-91961-045-8. - EDN QNFHLH.
 2. G. Smirnov. Pipeline gas exports from Russia will decrease 1.5 times in 2023. Where this raw material can be redirected. RBC electronic news portal. [URL]: <https://www.rbc.ru/business/07/08/2023/64ccd4b29a79472f1bdd75db> (date of reference: 28.10.2023).
 3. Patent of the Russian Federation №2017108800, 16.02.2018. Method of natural gas liquefaction using a high-pressure cycle with ethane pre-cooling and nitrogen re-cooling "Arctic Cascade" and a setup for its implementation // Russian Patent No. RU 2645185 C1. 2018. / Minigulov R.V., Rudenko S.V., Vasin O.E. [and others] / Public Joint Stock Company "NOVATEK".
 4. Patent of the Russian Federation №2023103701, 17.02.2023. Method of natural gas liquefaction // Russian Patent No. RU 2797608 C1. 2023. / Rudenko S.V., Fedoseev P.O., Ryazapov T.E. [and others] / Public Joint Stock Company NOVATEK.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 552.578.1

ПРОБЛЕМА ГАЗИФИКАЦИИ ОТДАЛЕННЫХ РЕГИОНОВ И МЕТОД ЕЁ РЕШЕНИЯ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПРИМИРОВАННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Байбак Н.А., Бедесов Д.А., научный руководитель: Гульков А.Н., научный руководитель: ¹ Минакова П.С.

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

Статья описывает современное состояние энергообеспечения потребителей природным газом в России. Приводятся преимущества использования газового топлива в электро- и теплоснабжающей сфере, поднимается проблема обеспечения энергией жителей отдаленных регионов и районов. Излагаются альтернативные пути газификации в сравнении с традиционными методами. Приведены преимущества и недостатки возможной газификации компримированным природным газом (КПГ). Описана технология производства такого топлива, а также сделан вывод о целесообразности её развития и применения.

Ключевые слова: Компримированный природный газ (КПГ), сжиженный природный газ (СПГ), газификация, природный газ, АГНКС, компримирование газа, транспорт газа.

THE PROBLEM OF REMOTE REGIONES GASIFICATION AND THE METHOD OF ITS SOLUTION BY THE USE OF COMPRESSED NATURAL GAS

Baibak N.A., Bedesov D.A., scientific supervisor: Gulkov A.N., scientific supervisor: ¹ Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

The article describes the current state of natural gas energy supply of consumers in Russia. The advantages of using gas fuel in electricity and heat supply are given, and the issue of providing energy to consumers of remote regions and districts is raised. The paper presents alternative ways of gasification in comparison with traditional methods. Benefits and drawbacks of possible gasification by compressed natural gas (CNG) are provided. The technology of production of this fuel is described, and the conclusion about the practicability of its development and application is made.

Keywords: Compressed natural gas (CNG), liquefied natural gas (LNG), gasification, natural gas, CNG filling station, gas compression, gas transport.

Nowadays, hydrocarbon resources (oil, natural gas, coal, peat, etc.) are main fuels for heat and electricity generation almost all over the world. In 2023, the proportion of heat and power stations in the structure of the UES of Russia is about 66%, which is quite a significant value [7]. At the same time, according to the forecast data, by 2028 the decrease of TPPs energy production ratio in Russia will be insignificant - about 2% [8].

Traditional raw hydrocarbons (including oil, coal) in the modern energy sector most commonly are giving way to natural gas. Thus, according to the International Economic Agency (IEA), the total world share of gas in power generation by 2021 has increased from 16% to 22% [3]. It is more environmentally safe; gas reserves are several times greater than the world's oil reserves. In addition, the prime cost of natural gas (including production and transportation) is much lower than other hydrocarbons, which makes it more economically attractive for supply companies.

The most serious issue is a supply of energy to consumers (industrial and individual) living in under-populated and remote regions of our country. The large area and low density of population in Russia lead to energy isolation of certain settlements. Consequently, the urgent task of the Russian energy industry is to identify ways to supply such consumers with cheap and high-quality energy resources.

The Russian Gasification Program of PJSC “Gazprom” for 2021-2025 complies such requirements. According to [6], the project involves 72 regions, including low-populated and harsh climatic area, including: the Republic of Sakha (Yakutia), Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Yugra, Kamchatka Kray, and others. The main gasification method is the expansion of gas distribution plants and natural-gas networks. In addition, the program includes the transfer of local boiler houses and TPPs from coal (fuel oil) to natural gas. As of 2023, the level of gasification in Russia is 73-74% [6].

Nevertheless, the existing gasification program in Russia is based on the Unified Gas Supply System, which was mainly built in the USSR and does not meet modern requirements of safety and high-quality gas transportation to consumers. Furthermore, meteorological conditions and the terrain of remote regions often result in higher capitalized expenses for pipelining and the prime cost of the gas pipeline network developing. In this case, the construction of the gas-transport system becomes economically inexpedient. Consequently, it is necessary to focus on alternative ways of supplying consumers with natural gas.

The following ways of gas supply to remote regions are known:

- off-grid gas supply (from cylinders or gas holders);
- gas supply by liquefied natural gas (LNG);
- use of compressed natural gas (CNG) [4].

Off-grid gas supply is common in European countries as well as in the USA and Canada. However, its disadvantages are high initial capital investments for individual consumers (owner-occupied households), as well as high quality requirements for gas boilers. Moreover, such equipment may occupy large space on the adjacent territory, which reduces the possibility of its beneficial use.

LNG gasification is a more technological and promising line of research. This method allows to supply remote regions with gas quickly and efficiently by producing fuel at gas distribution stations (GDS) and transporting it by tank trucks. However, LNG differs from conventional gas in its high production costs and low production capacity. Producers have to rely on large consumers (power plants, boiler houses) to offset prices due to the limited fuel production. Usually, they choose either off-grid gas supply or gas pipeline transportation [4].

Compressed natural gas (CNG) is a promising alternative to traditional gasification methods. CNG is a natural gas compressed to a pressure of 20-25 MPa at CNG filling stations [1]. The volume of gas during compression is reduced by 200 times, which saves the capacity of reservoirs and tanks during its transportation and storing. It is used mainly as a motor fuel for combustion engines of motor

transport. CNG is non-toxic, its production is cheaper than LNG, and it does not require regasification in the process.

Russia has experience of CNG gasification of transport. Thus, according to the data of the Central Dispatch Department of Fuel and Energy Complex [5], the number of companies producing such fuel has increased more than 10 times since 1998. By 2022-2023 the volume of such gas networks in Russia should reach 1720 million m³. Most of CNG is produced in 5 regions: Krasnodar Krai, the Rostov Region, Republic of Tatarstan, Stavropol Territory, and Nizhny Novgorod region. However, these regions are known by more favorable climatic conditions and higher population density than remote areas of Siberia and the Far East. Therefore, the issue of technology choice and estimation of economic feasibility for low populated and remote areas is the main issue in the implementation of the gas supply project.

Let us consider the process of CNG production and its transport. The gas is supplied from the main pipeline and to the CNG filling station, where it goes through prepurification, after which it is sent to the compression unit. The pressure of the fuel is increased, after which the compressed gas is pumped into tanks or trucks. A necessary condition for the realization of the CNG-gasification project is the presence of a motor road system, where the gas will be delivered to the storage tanks.

The next step is to reduce the pressure of the CNG, because high pressure does not meet the requirements of the gasification rules and regulations (extreme pressure in residential buildings - 3000 kPa). After that, the gas is pumped into medium and low-pressure pipelines for its transmission to consumers [4] (Figure 1).

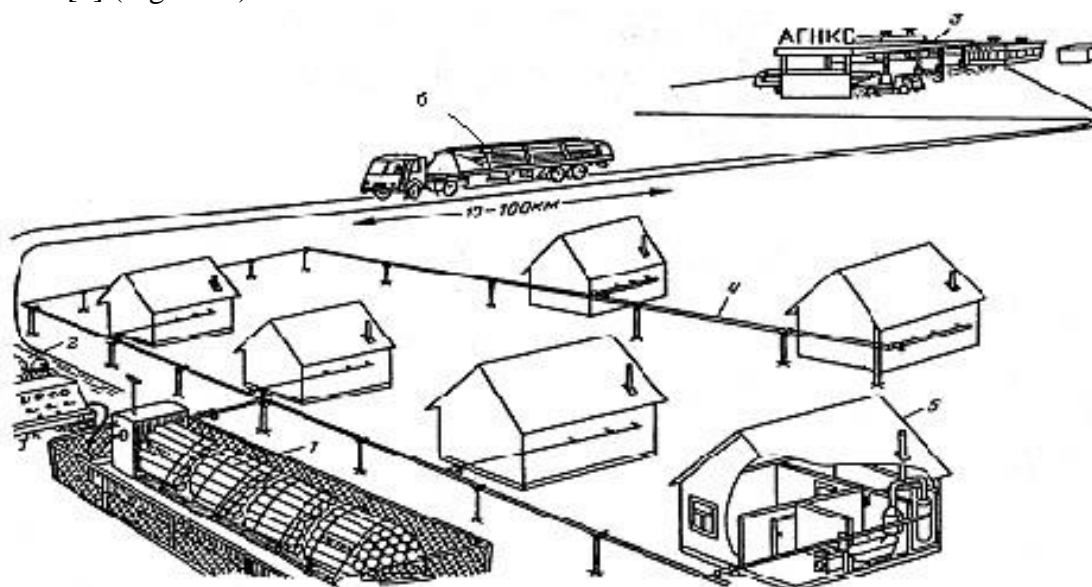


Figure 1 – Principle diagram of settlement's gasification by off-grid supply of compressed natural gas [4]:

- 1 - CNG storage; 2 - reducing device; 3 - CNG filling station;
- 4 - low-pressure gas pipeline network;
- 5 - gasified object; 6 - CNG transporter.

Source: Rachevsky B.S. LNG, LNG and CNG technologies for gasification of regional facilities // *Alternative Fuel Transportation*. 2016. №3 (51).

Low capital costs, fuel price and availability of CNG production technologies are its advantages over off-grid supply and LNG gasification. This technique does not require deep gas treatment and storages can be filled more efficiently. Nevertheless, its applicability is limited in remote regions, primarily due to low quality and poorly developed motor road network. Consequently, the issue of such gasification method is complex and demands more serious consideration. Taking into account the necessity of improving the road network in Russia and an implementation of such projects, CNG gasification may become more widespread in the future. Capital investments in compression utilities will not only allow the expansion of the gas supply to remote consumers, but will also lead to increased investments in the engineering of transport and logistics networks in Russia. Which, in itself, is one of the priority tasks of the Russian energy industry.

Список литературы

1. Грязнов М.Б. Применение газомоторного топлива в Российской Федерации: проблемы и перспективы // Финансы: теория и практика. 2013. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gazomotornogo-topлива-v-rossiyskoy-federatsii-problemy-i-perspektivy>
2. Ким Анатолий Афанасьевич Ким Проекты ОАО "Газпром газэнергосеть", реализуемые в рамках программы газификации регионов России // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. №1 (31). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proekty-oao-gazprom-gazenergaset-realizuemye-v-ramkah-programmy-gazifikatsii-regionov-rf>
3. Пескатори А., Штюмер М. "От изобилия к жажде". / Финансы и развитие. - 2022. URL: <https://www.imf.org/ru/Publications/fandd/issues/2022/12/from-abundance-to-thirst-Pescatori-Stuermer>
4. Рачевский Б.С. СПГ, сжиженный газ и КПП-технологии для газификации объектов региона // Транспорт на альтернативном топливе. 2016. №3 (51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-spb-spg-i-kpg-dlya-gazifikatsii-obektov-regiona>
5. Официальный сайт Центрального диспетчерского управления топливно-энергетического комплекса (ЦДУ ТЭК Минэнерго России). "Российский рынок GMT - есть куда расти". URL: https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2022/9/1064/.
6. Официальный сайт проекта ПАО "Газпром" "Газификация России". URL: <https://www.gazprommap.ru/>
7. Интернет-издание "АК&М: Информационное агентство". Объем выработки электроэнергии в России в январе-августе увеличился на 0,4%. URL: https://www.akm.ru/news/obem_elektricheskoy_generatsii_v_rossii_v_yanvare_avguste_2023_goda_uvelichilsya_na_0_4

References

1. Gryaznov M.B. Application of gas motor fuel in the Russian Federation: problems and prospects // Finance: theory and practice. 2013. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gazomotornogo-topлива-v-rossiyskoy-federatsii-problemy-i-perspektivy>
2. Kim Anatoly Afanasyevich Kim Projects of JSC Gazprom Gazenergaset implemented under the program of gasification of Russian regions // Transport on alternative fuel. 2013. №1 (31).

- URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proekty-oao-gazprom-gazenergaset-realizuemye-v-ramkah-programmy-gazifikatsii-regionov-rf>
3. Pescatori A., Stürmer M. "From abundance to thirst". / Finance and Development. - 2022. URL: <https://www.imf.org/ru/Publications/fandd/issues/2022/12/from-abundance-to-thirst-Pescatori-Stuermer>
 4. Rachevsky B.S. LNG, LNG and CNG technologies for gasification of the region's facilities // Transport on alternative fuel. 2016. №3 (51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-spb-spg-i-kpg-dlya-gazifikatsii-obektov-regiona>
 5. Official website of the Central Dispatch Control of Fuel and Energy Complex (CDC FEC of the Ministry of Energy of Russia). "Russian market of GMT - there is room to grow". URL: https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2022/9/1064/.
 6. Official website of PJSC Gazprom's project "Gasification of Russia". URL: <https://www.gazprommap.ru/>
 7. Online edition "AK&M: Information Agency". The volume of electric generation in Russia in January-August increased by 0.4%. URL: https://www.akm.ru/news/obem_elektricheskoy_generatsii_v_rossii_v_yanvare_avguste_2023_goda_uvelichilsya_na_0_4
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 622.692.4

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВКИ РЕКУПЕРАЦИИ ПАРОВ В КОМБИНАЦИИ С ТРЕХПОТОЧНОЙ ВИХРЕВОЙ ТРУБОЙ НА АЗС

Макавчик И.А., Бобриков А.И., научный руководитель: Слесаренко В.В., научный руководитель: ¹Минакова П.С.

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В работе представлена значимость проблемы потерь от испарений светлых нефтепродуктов. Приведены статистические данные, демонстрирующие, что наибольший процент потерь связан с хранением продуктов в резервуарах. Обоснована целесообразность применения установок рекуперации паров на АЗС в комбинации с трехпоточной вихревой трубой для значительного снижения потерь светлых нефтепродуктов при заправке автомобилей и сливе продукта из автоцистерны в резервуары хранения.

Ключевые слова: Светлые нефтепродукты, АЗС, трехпоточная вихревая труба, большие дыхания, установка рекуперации паров, адсорбер, активированный уголь, эффект Ранка-Хилша.

PRACTICAL APPLICATION OF A VAPOR RECOVERY UNIT IN COMBINATION WITH A THREE-FLOW VORTEX TUBE AT FILLING STATIONS

Makavchik I.A., Bobrikov A.I., scientific supervisor: Slesarenko V.V., scientific supervisor: ¹Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

The paper presents the significance of the problem of evaporation losses of light oil products. The statistical data showing the largest percentage of losses related to bulk oil storage is presented. The expediency of using vapor recovery units at filling stations in combination with a three-flow vortex pipe is proved. Reasons of significant decrease of evaporation losses from oil-loading operations, filling stations and discharge from the oil truck into crude tanks are given in an article.

Keywords: Light oil products, filling stations, three-flow vortex tube, strong breathing, vapor recovery unit, adsorber, activated carbon, Rank-Hilsh effect.

The evaporation of light oil products is one of the most important process of petrol storing due to the effect on all technological stages of life of this valuable product. Storage in tanks, transportation by any possible transport and draining and filling operations are inevitably followed by huge losses from strong and inconsiderable breathing. It has an impact both on the quantity and quality of the final product. In this regard, it is necessary and rightly to develop and seek for modernization of current technologies, as well as search for fundamentally new ones. Thus, it will let us to ensure maximum leak proofness of all technological processes belonging the life cycle of light oil products.

According to Table 1, based on the information presented in [1], the main share of losses of light oil products falls on their storage in tank batteries at oil depots, refineries and filling stations (Table 1). Table 2 presents information on losses of light oil products in tanks (Table 2).

Table 1 – Total losses of light oil products

Losses of light oil products during transportation	Losses, %	Light oil product losses from evaporation in tank batteries, %
Motor transport	59,3	65-70
Water transport	17,5	
Pipelines and transshipment depots	11,1	

Source: *Almakhanova, E. A. Losses of light oil products during transportation, storage and loading and unloading operations / E. A. Almakhanova, B. U. Zhamanbaev*

Table 2 – Loss of oil products during storage in tanks

Sources of loss	Losses, %
"Strong breathing."	54,0
Deflation	4,6
Gas trap	0,9
From tank cleaning	5,3
At pump stations	2,3
With sewage drains	7,5

Source: *Almakhanova, E. A. Losses of light oil products during transportation, storage and loading and unloading operations / E. A. Almakhanova, B. U. Zhamanbaev*

It should be noted that evaporation losses are primarily associated with the volatilization of the most valuable fractions for light oil products - light hydrocarbon fractions (LHF). According to [1], the Russian oil and gas sector is marked by annual evaporation losses at oil depots of more than 100 thousand tons. This fact demonstrates the importance of developing preventing technologies for trapping vapors and volatilized hydrocarbons.

Nowadays, it is reasonable to use oil product vapor recovery units (VRU) at filling stations, which provide an opportunity to considerably reduce the share of petrol vapors, irrecoverably escaping into the atmosphere. Two options of vapor recovery units at petrol stations are applicable - for filling vehicles (Figure 1) and for discharging petrol products from oil trucks (Figure 2).

According to [3], the traditional design of VRU implies continuous process on three pairs of adsorbers. The first pair is the active working one. Its implementation is as follows: the stream of captured hydrocarbons passes only through one of two technologically connected adsorbers. During an operation, hydrocarbons are precipitated on the adsorbent (activated carbon was conventionally an adsorbent). The time of this cycle is strictly regulated depending on the volume of hydrocarbons

flowing to the adsorber in a particular time interval. The next step is the transition to the operating state of the second adsorber, while the first adsorber switches for regeneration. Regeneration takes place by creating a vacuum in the adsorber body. Hydrocarbons are detached from the adsorbent due to the reduced pressure. Subsequently, they are sent to the reabsorption column. It can be concluded that the first adsorber is in operation while the other one is regenerated. Moreover, the necessity of regular stopping of both adsorbers for maintenance works is an essential part of the process. Every VRU system consists of three pairs, where the second one is a spare working pair. The third is a reserve pair in case the first pair is on regular maintenance or is out of order. In this case, the third pair becomes the spare working pair.

The main disadvantage of VRU usage is the probability of high residual emission level at the VRU outlet, which occurs primarily due to the quality of vapor adsorption. VRU unit of filling stations get a mixture of hydrocarbons which is purified much worse than each individual component. Hence, it leads to estimations differs from the actual efficiency level of the process. In order to reduce residual emission of hydrocarbons it is needfully to carry out drying, cooling of vapor-air mixture and removing of "harmful impurities". For this purpose, it is reasonable to use a three-flow vortex tube (VT) (Figure 3).

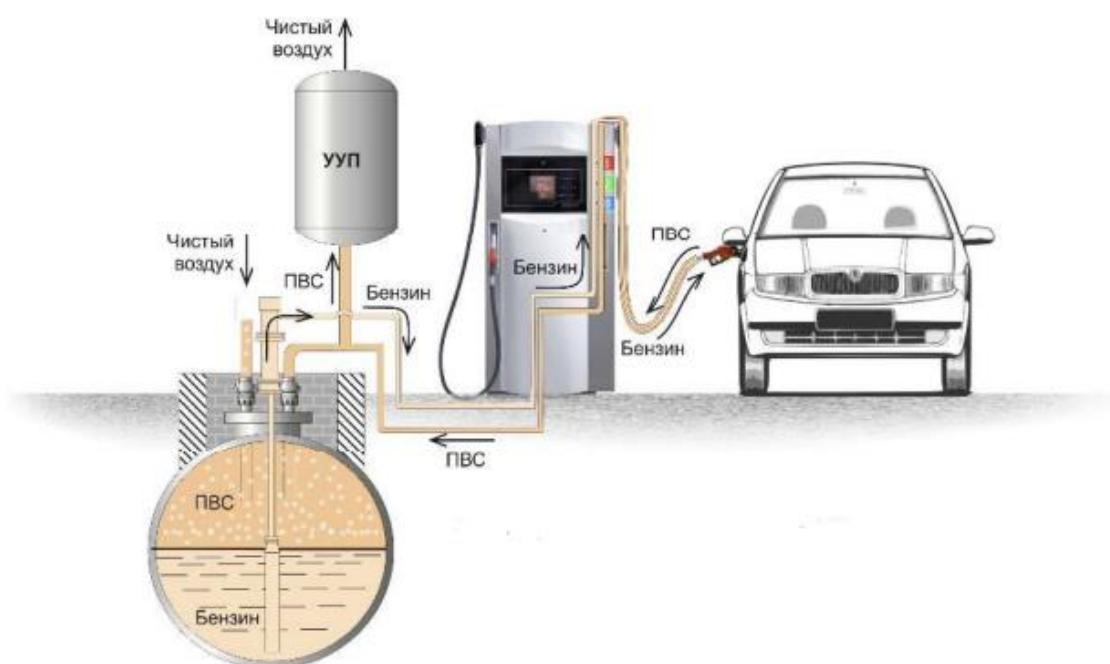


Figure 1 – Car refueling at the filling station with the use of VRU [2]
Source: *Oil product vapor recovery system. JSC Prompribor*

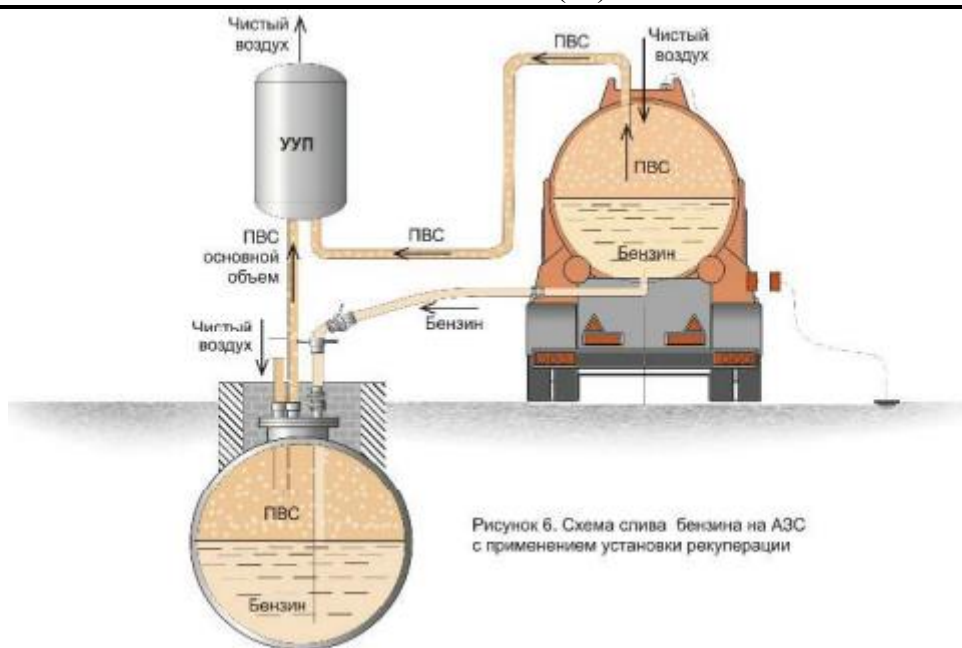


Рисунок 6. Схема слива бензина на АЗС с применением установки рекуперации

Figure 2 – Petrol draining at a petrol station with the use of FPS [2]

Source: Oil product vapour recovery system. JSC Prompribor. [Electronic resource]

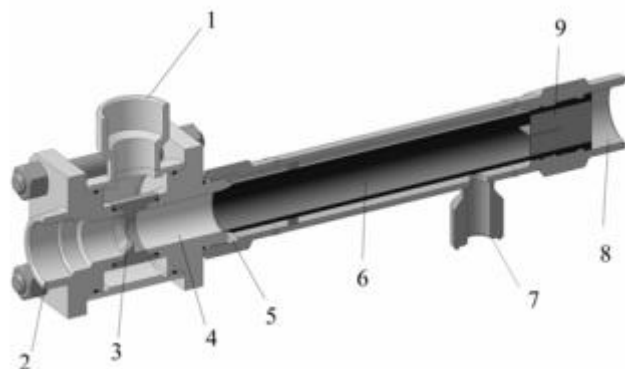


Figure 3 – Three-flow vortex pipe in section:

1 - nozzle inlet, 2 - cold end of the pipe, 3 - diaphragm, 4 - nozzle, 5 - separation unit, 6 - energy separation chamber, 7 - condensate outlet, 8 - hot end of the pipe, 9 - cross piece [4]

Source: Vlasenko, V. S. Development of a unit with a three-flow vortex tube for hydrocarbon vapour recovery / V. S. Vlasenko, V. V. Slesarenko, D. N. Shkredov

The operation concept of a three-flow vortex tube is based on the Rank-Hilsh effect, the essence of which is that a swirling vortex flow is divided into two with a high temperature difference. At this point, the hot flow located at the periphery exits through the flow ratio controller, while the cold flow is concentrated in the center of the tube and exits in the opposite direction to the hot flow through the central orifice in the diaphragm [5]. An application of a three-flow vortex tube into the technological process of VRU work at the filling station will allow to send only the cold flow to the adsorber by means of flow separation. At the same time, hot flow goes to the compressor inlet for the purpose of cyclic feeding to the vortex tube through the plate heat exchanger. Consequently, only cold hydrocarbons will flow into the adsorber, which leads to achieving a significant reduction of residual

hydrocarbon emissions at the outlet of the VRU. Figure 4 shows the scheme of the FPSO in combination with the VT (Figure 4).

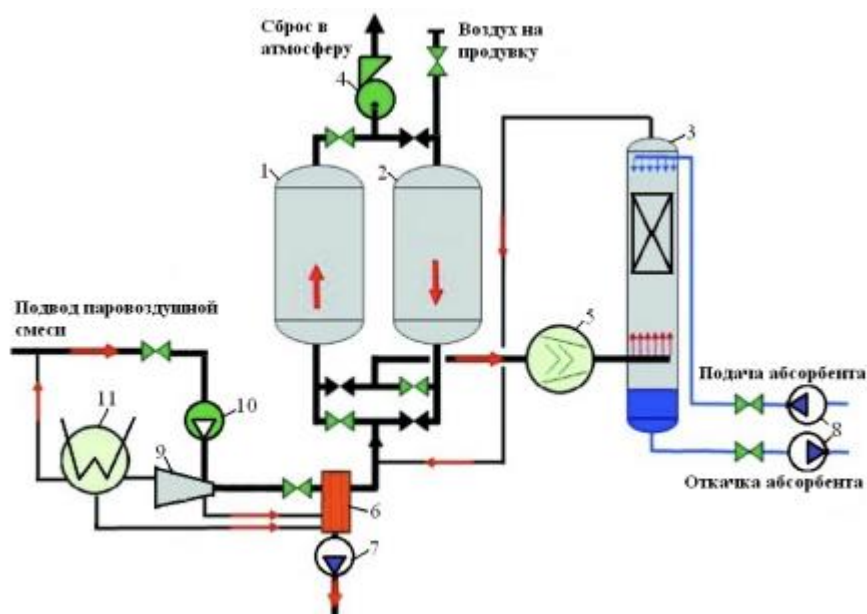


Figure 4 – Flow diagram of VRU in combination with VT:

- 1 - adsorber in operating mode; 2 - adsorber in regeneration mode; 3 - absorber column; 4 – air cooler; 5 - vacuum pump; 6 - condensate collector; 7 - condensate pump; 8 - absorbent pumps; 9 - three-flow WT; 10 - compressor; 11 - heat exchanger-cooler [6]

Source: Slesarenko, V. V. Improvement of oil vapour recovery units to reduce harmful emissions into the atmosphere / V. V. Slesarenko, V. D. Lapshin, P. A. Sokolova

Список литературы

1. Алмаханова Е. А. Потери светлых нефтепродуктов при транспортировке, хранении и погрузочно-разгрузочных работах / Е. А. Алмаханова, Б. У. Жаманбаев // Механика и технологии. - 2013. - № 3(41). - С. 6-18.
2. Система утилизации паров нефтепродуктов. ОАО "Промприбор". [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.prompribor.ru/images/o_kompanii/statyi/rekup_analiz.pdf (Дата обращения: 13.11.2023).
3. Власенко В. Трехпоточная вихревая труба как инструмент подготовки паров нефтепродуктов к утилизации / В. Власенко, В. Слесаренко // Современные наукоемкие технологии. - 2014. - № 5-1. - С. 130-134.
4. Власенко В. С. Разработка установки с трехпоточной вихревой трубой для улавливания паров углеводородов / В. С. Власенко, В. В. Слесаренко, Д. Н. Шкредов // Горный информационно-аналитический вестник (научно-технический журнал). - 2014. - № С4. - С. 82-92.
5. Трехпоточные вихревые трубы - экологически значимая альтернатива сжиганию попутного нефтяного газа на факелах/М.А.Жидков, В.А.Девисилов, Д. А. Жидков [и др.] // Безопасность в техносфере. - 2013. - Т. 2, № 3. - С. 19-27.

6. Слесаренко В. В. Совершенствование установок утилизации паров нефти для снижения вредных выбросов в атмосферу/В.В.Слесаренко, В.Д.Лапшин, П.А.Соколова // Горный информационно-аналитический вестник (научно-технический журнал). - 2013. - № С3. - С. 182-189.

References

1. Almakhanova, E. A. Losses of light oil products during transportation, storage and loading and unloading operations / E. A. Almakhanova, B. U. Zhamanbaev // Mechanics and technologies. - 2013. - № 3(41). - pp. 6-18.
 2. System of oil product vapour recovery. Prompribor JSC. [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.prompribor.ru/images/o_kompanii/statyi/rekup_analiz.pdf (Date of address: 13.11.2023).
 3. Vlasenko, V. Three-flow vortex tube as a tool for preparation of oil product vapours for recovery / V. Vlasenko, V. Slesarenko // Modern knowledge-intensive technologies. - 2014. - № 5-1. - pp. 130-134.
 4. Vlasenko V. S. Development of the installation with a three-flow vortex tube for hydrocarbon vapour recovery / V. S. Vlasenko, V. V. Slesarenko, D. N. Shkredov // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2014. - № S4. - pp. 82-92.
 5. Three-flow vortex tubes - an ecologically significant alternative to flaring of associated petroleum gas / M. A. Zhidkov, V. A. Devisilov, D. A. Zhidkov [et al.] // Safety in the technosphere. - 2013. - Т. 2, № 3. - pp. 19-27.
 6. Slesarenko, V. V. Improvement of oil vapour recovery units for reducing harmful emissions into the atmosphere / V. V. Slesarenko, V. D. Lapshin, P. A. Sokolova // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2013. - № S3. - pp. 182-189.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 622.276АА

МАЛОТОННАЖНОЕ ПРОИЗВОДСТВО СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА БАЗЕ ПОПУТНЫХ НЕФТЯНЫХ ГАЗОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Ивашченко В.Е., Ивашченко В.А., научный руководитель: Гулькина С.Г., научный руководитель: ¹Минакова П.С.

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В данной статье рассматриваются способы утилизации попутного нефтяного газа, который является ценным источником энергии и сырьевой базой для топливной и химических отраслей промышленности. Обсуждается возможность получения сжиженного природного газа на базе попутного нефтяного газа, предлагается энергоэффективная технологическая схема для получения СПГ на базе ПНГ.

Ключевые слова: Попутный нефтяной газ, сжиженный природный газ, фракционирование, малотоннажное производство, утилизация попутного нефтяного газа, широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ).

LOW-TONNAGE PRODUCTION OF LIQUEFIED NATURAL GAS BASED ON ASSOCIATED PETROLEUM GAS FIELDS

Ivashchenko V.E., Ivashchenko V.A., scientific supervisor: Gulkova S.G., scientific supervisor: ¹Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

This article discusses the ways of utilization of associated petroleum gases, which is a valuable source of energy and a feed base for the fuel and chemical industries. The possibility of liquefied natural gas production based on associated petroleum gas is considered and an energy-efficient technological scheme for LNG production based on the usage of APG is proposed.

Keywords: Associated petroleum gas, liquefied natural gas, fractionation, low-tonnage production, utilization of associated petroleum gas, natural gas liquids (NGL).

Scientists have been thinking about a useful utilization of APG in industry since the last century. Originally, oil and gas condensate fields APG was considered as a difficult to transport by-product, it was burned at gas flares most often. It was regarded as the simplest way of utilization, which did not require complex production technologies and implementation of expensive facilities. However, gas flaring leads to huge missions of pollutants such as carbon dioxide, soot, etc. Such releases have a negative impact on the world's environmental situation.

Associated petroleum gas is a form of natural gas, which is dissolved in oil, a mixture of hydrocarbon and non-hydrocarbon gases containing a significant proportion of C₃₊ alkanes, which in turn are the feed base for the chemical and energy industries.

Nowadays, the majority of promising APG utilization methods have emerged due to the development and deepening of production technologies, manufactures and machines designing:

- gas is injected into the reservoir to increase oil production at the field. In order to recover gas condensate fields, a full or partial sidetracking process is used, which consists in injecting of light hydrocarbons obtained after processing of produced gas condensate into the reservoir. This method is expensive and is mostly realized abroad. [3,5]
- APG is used to generate electricity for own needs of production because of the great remoteness of the field from the consumer. This option is beneficial for small fields, which can also provide electricity to local consumers. [3,5]
- fractionation to obtain natural gas, natural gas fluids (NGL), as well as heavier C₅₊ components. Gas petrol obtained from heavy fractions is used as fuel. Then NGLs are sent for further processing and obtaining a feed base for production of polymers, motor fuels, oils, plastics, alcohols, etc. This option is suitable for medium-sized fields. [3,5]
- Cryogenic processing using small liquefaction or process features in LNG plants and gas processing plants, which include facilities for production of LPG for the usage of gas field or for transportation to energy markets [3,5].

Let us consider more detailly the direction of APG utilization with the production of liquefied hydrocarbon fuel. The reason of small realization at low-tonnage LNG projects is considered to be low profitability because of limited production capacity. In comparison, large-scale production facilities require a necessary LPG separation as a part of the process chain in most of liquefaction processes. At the same time, cryogenic APG generation is successfully realized at small liquefaction plants on the basis of gas distribution stations (GDS) and automobile gas filling compressor stations. The efficiency of these plants in terms of final product's yield is not as high as it could be due to application of an open refrigeration cycle. The liquefaction ratio of these plants depends on the pressure drop and chosen cooling method, such as throttling, expanding or energy separation in a vortex tube. The undoubted benefit of these plants is the minimal energy consumption for liquefaction [2,4].

Currently, one of the most innovative technologies for APG processing and LNG production is NGL Pro, developed and patented by ASPEN, which is widely used in the USA and Canada (Figure 1).

The technological process is as follows: feed goes into a three-phase separator, where the liquid phase, associated petroleum gases and depleted gas are extracted. APG, passing through pre-cooling, is sent to the stabilization column, where the residue light hydrocarbons are separated and then are sent back to the cycle, which passes through a reboiler. Heavy hydrocarbons are sent to the reservoir [1].

This method is suitable for processing associated petroleum gases and obtaining light hydrocarbon fractions, which can be liquefied at the refrigeration plant further. Also, it should be noted that this cycle does not require any of expensive equipment, absorbers for gas drying, refrigeration cycles. The advantages of this technological scheme can be mentioned:

- the possibility of obtaining LNG as one of the methods of APG utilization;

- removal of most of the water and liquid phase in the three-phase separator reduces a chance of hydrate formation in the units;
- small number of equipment units hence the portability and easy maintenance of such plants.

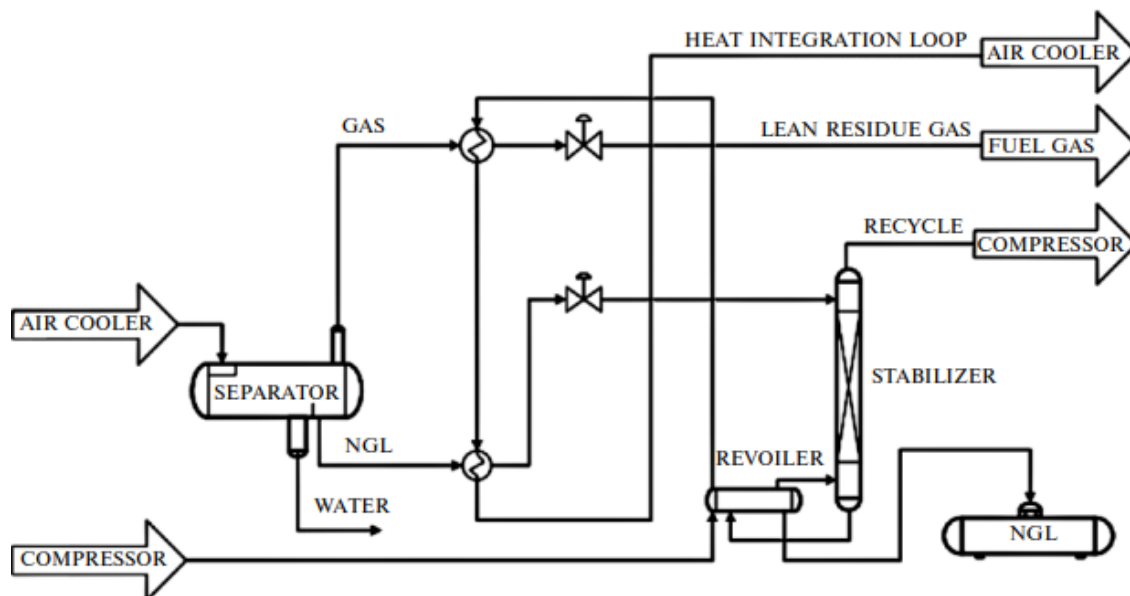


Figure 1 – Flow diagram of the NGL Pro process

Source: Shcherba V.A., Gomez A.S.S., Vorobyev K.A. *Problems and prospects of associated petroleum gas utilization in the Russian Federation. Problems of regional ecology*. 2019. №1. pp. 134-144.

Thus, it can be concluded that associated petroleum gas processing technology of LNG production is a perspective and important area of the oil and gas industry of in country. The use of available technologies and those considered in this paper can significantly increase the depth of APG processing, as well as provide energy autonomy of individual modules and territories due to the use of LNG. Moreover, modern approaches of gas processing will allow our country not only to reduce the number of harmful emissions (by reducing the amount of fuel flared), but also to provide consumers with a high-quality product. It cannot be denied that that Russia has great potential to become a leader in the global market for gas and oil refined products.

Список литературы

1. Щерба В. А., Гомес А.С.С., Воробьев К. А. Проблемы и перспективы утилизации попутного нефтяного газа в Российской Федерации. *Проблемы региональной экологии*. 2019. №1. С. 134-144.
2. Муллахметова Л. И., Черкасова Е. И. Попутный нефтяной газ: подготовка, транспортировка и переработка. *Вестник Технологического университета*. 2015. Т.18. №19. С. 83-89.
3. Рядинская А.П., Череповицына А.А. Утилизация попутного нефтяного газа в России: методы и перспективы получения продуктов газохимии. *Север и рынок: формирование экономического порядка*. 2022. № 2. С. 19-34.

4. Белик Е.С., Рудакова Л.В. Оценка возможности утилизации попутного нефтяного газа. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2020. №4. С. 66-80.
5. Официальный сайт журнала Neftegaz.RU// Получение СПГ как способ утилизации попутного нефтяного газа [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/spg/770977-poluchenie-spg-kak-metoda-utilizatsii-png/> (Дата обращения: 01.11.2023).

References

1. Shcherba V. A., Gomez A.S.S., Vorobyev K. A. Problems and prospects of utilization of associated petroleum gas in the Russian Federation. Problems of regional ecology. 2019. №1. pp. 134-144.
2. Mullakhmetova L. I., Cherkasova E. I. Associated petroleum gas: preparation, transportation and processing. Vestnik Technologicheskogo Universitet. 2015. T.18. №19. pp. 83-89.
3. Ryadinskaya A.P., Cherepovitsyna A.A. Utilization of associated petroleum gas in Russia: methods and prospects for the production of products in gas chemistry. North and market: formation of economic order. 2022. № 2. pp. 19-34.
4. Belik E.S., Rudakova L.V. Estimation of possibility of associated petroleum gas utilization. Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanistics. 2020. №4. pp. 66-80.
5. Official website of the magazine Neftegaz.RU// Obtaining LNG as a method of APG utilization [Online source]. - Access mode: <https://neftegaz.ru/science/spg/770977-poluchenie-spg-kak-metoda-utilizatsii-png/> (Date of reference: 01.11.2023).



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.31; 62.03

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАГИСТРАЛЬНОГО НАСОСА

Малыш М.А., Алексеенко Н.В., научный руководитель: Слесаренко В.В., научный руководитель: ¹Минакова П.С.

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В данной статье рассматривается устройство магистральных насосов, режимы работы электродвигателей, а также способы их охлаждения. Представлены основные конструктивные элементы и узлы насосного агрегата. В работе предложено 3 способа оптимизации системы охлаждения электроприводов магистральных насосов, проведено описание холодильного цикла для смешанного хладагента-фреона.

Ключевые слова: Магистральный насос, асинхронный электродвигатель, система охлаждения, оптимизация, предельная температура, режим работы, хладагент, циркуляционная система охлаждения.

IMPROVEMENT OF THE ELECTRIC DRIVE COOLING SYSTEM IN THE MAIN LINE PUMP

Malysh M.A., Alekseenko N.V., scientific supervisor: Slesarenko V.V., scientific supervisor: ¹Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

The article describes the structure of main line pumps, operational conditions of electric motors and ways of their cooling. The main constructive feature and units of the pump unit are presented. The three ways of cooling system's improvement in construction of main line pumps are proposed, the refrigeration cycle for mixed refrigerant-freon is also given.

Keywords: Main line pump, asynchronous electric motor, cooling system, optimization, high-limit temperature, operational conditions, refrigerant, circulating cooling system.

The main line pump is a hydraulic machine intended to convert electrical or mechanical energy into fluid flow energy for the purpose of pumping through main pipelines. Such machines applied to pumping petroleum products (especially, oil) belong to dynamic machines according to the mode of action. Nowadays, the main type of pumps, which are widely used is vane pumps. Let us consider the structure of the pumping units by the example of a centrifugal main line pump, which includes the following units:

-
- a snail-shaped pump casing for tangential inlet of the pumped liquid, which can be designed as a horizontal or vertical connector. The casing is equipped with two connections - suction and pressure;
 - pump shaft with impellers, which are open, closed and semi-closed, designed to move and transfer energy to the pumped liquid. The energy is transferred to the shaft by an electric motor or electric drive;
 - bearing units and lubrication system, to ensure free rotation of the shaft with impellers;
 - sealing devices, designed to seal the machine structure against leakage of pumped medium. Various types of seals are used: gland seals, slotted seals, labyrinth seals and so on;
 - electric motor or electric drive, which is assembled as a remote element, connected via a toothed coupling or made in a single housing design together with the pump. [2]

The above-mentioned fact must be discussed more particularly. Electric motors of series STM (synchronous three-phase electric motors), STMEP (synchronous three-phase motors explosion-proof), as well as asynchronous motors are widely used in petroleum transport. The fundamental problem in the exploitation of electric motors is overheating of windings and bearing units. This heat is transferred to the casing further and heats up the winding insulation. Subsequently, it reduces the service life of electric motors and the heat resistance of the insulation, which can lead to failure during long-term operation of the power unit. Cracking of insulation and loss of dielectric properties are also noted in the maintenance of pumps. The choice of secondary cooling method of the hydraulic machine electric drive depends on the possible operational modes it:

- constant nominal mode is the mode of operation when the load is constant for a long time. The operating temperature is the same at all points of the electric motor;
- short-term nominal mode is the mode with periodic start-stop of the electric machine. The temperature does not rise to its operating value. During the interval of stopping, the temperature of the electric motor drops to the ambient air temperature;
- repeated-short-term nominal mode consists of periodic shutdowns from the operation. The temperature also does not reach its operating values;
- repeated-short-term mode with frequent starts. In this case, temperature exceeding may occur due to the short time interval between starts. The temperature variation will depend on the frequency of starts and the time intervals between starts;
- repetitive-short-term operation with frequent starts and electrical braking. This mode is similar to the previous except the additional losses due to electric motor braking, which also affects the temperature rise of individual parts and accessory sections;
- intermittent nominal mode. This regime is characterized by the constancy of the electric motor operation in time, but with a period for its no-load running. The temperature does not exceed its permissible values. [1]

The electric drives of main line pumps are mostly operated in nominal mode. The possibility of overheating cannot be ruled out in this case. Therefore, an additional cooling system must be provided. In terms of cooling, motors with natural and artificial cooling are distinguished. Natural cooling is usually used for open machines.

Artificial cooling requires gas or liquid medium. An installation of impellers on the motor shaft end is an effective technique which forces an air stream onto the housing. When circulating air cooling is used internally, special air channels are made in the casing. There are two methods of air cooling:

having fans on the shaft and fans independent of the motor. It should be noted that this method is the prevention of overheating, but in the case of changing the mode of operation or increasing power, it is necessary to apply forced cooling.

Forced cooling with a fan stands out from above mentioned technologies, The impeller rotates due to its drive. Then, it is possible to increase the air flow. Also, circulating cooling systems with refrigerants are often applied for reducing the temperature. The main refrigerant is a hydrogen, which has a high heat capacity and thermal conductivity. Such units are rather expensive because they include a refrigerant cooling system with small heat exchangers.

Mixed refrigerants freons are used extensively in the field of electric drive cooling. Freon is used as a refrigerant due to its physical properties. It absorbs heat during evaporation and then releases it during condensation. The principle of operation is as follows: freon in gaseous state is extracted from the evaporator by means of compressor, compressed in mechanically reduced volume (in cylinder of air-pumps - piston), with simultaneous heating and transported to condenser. The freon cools down the motor to the ambient air temperature and enters the liquid state. The liquid freon flows through a throttling device (capillary tube or thermostatic control valve) to the evaporator, expands due to the low pressure after the throttling device, and again converts into the gaseous state. The expansion process is accompanied by the absorption of a large amount of heat, as a result of which the evaporator walls are cooled. Consequently, the temperature of the air inside the cooled volume decreases. The cycle repeats until the evaporator wall temperature drops to the value set by the thermoregulator, after which the thermoregulator opens the electrical circuit of the compressor and stops operation. After a while, the air in the cold room warms up and the thermo regulator turns the compressor back on under the influence of various factors [3]

Thus, the following common variants of optimization of cooling systems of electric pump drives can be identified:

- application of liquid circulation cooling. Oil can be selected as the liquid medium;
- selection of a blended refrigerant optimal for cooling under different operating conditions of the electric motor.
- installation of the impeller through a small multiplier, which will significantly increase the air flow rate.

Each of the methods of cooling the electric drive of the main pump has its own benefits and drawbacks. The main objective is the choice of the right energy-efficient and cost-effective system for each specific operating condition of the equipment. Undoubtedly, this topic requires more in-depth consideration, because stable and trouble-free usage of the main line pump is the key of the safe and successful oil transportation system. Hence, it is a strategically important production task.

Список литературы

1. Лихачев В.Л. Электродвигатели асинхронные / В.Л. Лихачев - М.: СОЛОН-Р, 2002. - 304 с.
2. Касьянов В.М. Гидромашины и компрессоры. Учебник для вузов. 2-е изд. Пересмотр. И доп. М., "Недра", 1981, 295 с.
3. Официальный сайт компании ПРОФХОЛОД// Описание и состав фреона [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https:// www.profholod63.ru/ poleznaya_informaciya/ opisanie_i_sostav_freonov/?ysclid=loy1grokn7858091046](https://www.profholod63.ru/poleznaya_informaciya/opisanie_i_sostav_freonov/?ysclid=loy1grokn7858091046) (Дата обращения: 09.11.2023).

References

1. . Likhachev V.L. Electric motors asynchronous/V.L.Likhachev-M.: SOLON-R, 2002. - 304 с.
 2. Kasyanov, V.M. Hydromachines and compressors. Textbook for universities. 2nd ed. Revision. And add. M., "Nedra", 1981, 295 p.
 3. Official site of the company PROFHOLOD// Description and composition of Freon [Electronic resource]. - Access mode: https://www.profholod63.ru/poleznaya_informaciya/opisanie_i_sostav_freonov/?ysclid=loy1grokn7858091046 (Date of access: 09.11.2023).
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 622.276.65

ПОВЫШЕНИЕ НЕФТЕОТДАЧИ ИСТОЩЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ЗАКАЧКИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Платонов В.И., Че В.С., научный руководитель: Гульков А.Н., научный руководитель: ¹Минакова П.С.

ФГБОУ ВО "ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Владивосток, Россия (690922, Приморский край, город Владивосток, остров Русский, п Аякс, д. 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

В данной работе рассматриваются методы повышения коэффициента извлечения нефти (КИН). Составлен краткий обзор на метод воздействия углекислого газа на пласт. Рассмотрены виды технологий воздействия диоксида углерода на пласт. Описаны основные преимущества и недостатки данного метода.

Ключевые слова: Коэффициент извлечения нефти, методы увеличения нефтеотдачи, растворение в нефти, закачка углекислого газа в пласт, карбонизированная вода, диоксид углерода в сверхкритическом состоянии.

ENHANCED OIL RECOVERY OF DEPLETED FIELDS BY INJECTION OF CARBON DIOXIDE

Platonov V.I., Che V.S., scientific supervisor: Gulkov A.N., scientific supervisor: ¹ Minakova P.S.

FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, Vladivostok, Russia (690922, Primorsky Krai, Vladivostok, Russky Island, Ajax village, 10), e-mail: ¹thescienceguysforever@gmail.com

In this paper, the methods of increasing the oil recovery coefficient (KIN) are considered in this paper. A brief overview of the carbon dioxide exposure method was compiled. The types of technologies of carbon dioxide impact on the formation are considered. The main advantages and disadvantages of this method are described.

Keywords: Oil recovery coefficient, methods of increasing oil recovery, dissolution in oil, injection of carbon dioxide into the reservoir, carbonized water, carbon dioxide in a supercritical state.

Oil production on the territory of the Russian Federation is one of the most important stages for the country's oil and gas industry. Due to this fact all regions of Russia are existing with a high level of fuel availability. But in spite of this, there is a global politic for the conservation of non-renewable resources. One of these resources is the most important raw material in the world – it's oil. Deposits of oil tend to deplete with such signs: a decrease in reservoir pressure, high flooding of the production product, a decrease in annual well flow rates. Therefore, many countries of the world, like Russia, are trying to rationally use non-renewable reserves along with the maximum depletion of the developed fields.

To extract the residual product, a variety of methods is used based on increasing the oil recovery coefficient. Among them, the main methods are thermal, chemical, gas, hydrodynamic and combinations of the above. In this article, the usefulness of gas recovery methods is researched.

These methods are based on injection of gas into the reservoir. A significant difference between these methods from others is the use of an injected agent, namely gas, which is currently the most inexpensive agent of all used. There are four types of gas methods: pumping air into the formation, using associated petroleum gas to increase the oil recovery factor, exposure of carbon dioxide on the formation, injection nitrogen, the usage of flue gases, etc.

Such techniques are among the most high-potential and promising, they are able to reduce the residual oil saturation in the affected area to 2-5%. Since most of the residual oil in the known developed fields remains in the form of flooded residual reserves, gas technologies are fundamentally important, because above mentioned oil deposits are more difficult to extract than from non-flooded formations. A theory is confirmed by the possibility of gas dissolving in water and oil.

The most effective of the gas methods for enhanced oil recovery is the injection of carbon dioxide into the reservoir. Experimental studies have repeatedly noted an increase in the capacity of oil as a result of the dissolution of carbon dioxide in it, as well as a decrease in the viscosity of crudes and an increase in density (oil "swelling" occurs) [1].

The interfacial tension at the boundary of water and oil decreases while gas injection. Moreover, an inevitable expansion of the rock's wettability with water is observed, as well as the transition of the oil film located on the rock from the film to the drip state.

Such advantages lead to wide usage of carbon dioxide as an injecting agent in oil and condensate recovery, especially in the USA and Canada. This method is implemented and applied worldwide in the following types:

1. Carbon dioxide injection technology based on injection of carbon dioxide into the reservoir in liquid or gaseous form without other auxiliary agents.
2. Carbon dioxide injection technology based on the injection of carbonized water (saturated with CO₂) into the reservoir.

Water saturated with carbon dioxide is injected into the formation, thus creating a layer of the displacing substance, which, in turn, squeezes out the remaining oil. The method of pumping water with carbon dioxide is more effective than traditional flooding because the addition of carbon dioxide reduces the viscosity of water while carbon dioxide dissolves in it. The main benefit of this technology is the relatively low consumption of carbon dioxide compared to other methods of its application in case of using carbonized water in the reservoir. However, it is less effective in comparison with the combined effect of CO₂ in the liquid or gas state on the formation. After injection of carbon dioxide in its pure form and subsequent injection of carbonized water, the efficiency of the method increases significantly. It happens especially due to the influence of carbon dioxide on the volume of the oil film and heavier components on the pore walls, which subsequently leads to a decrease in their area of contact with the pore walls, cracks and voids. Together, these processes greatly simplify the leaching of oil film and components from these voids.

3. Carbon dioxide injection technology based on injection of CO₂ into the reservoir in a supercritical state. The method of using carbon dioxide in a formation in a supercritical state has a huge potential for the production of high-viscosity oil. CO₂ in this state is highly effective as a solvent and is considered to be an environmentally friendly. Another feature of carbon dioxide is a huge

solvent capacity which occurs in areas of high pressure and constant temperature. Carbon dioxide in a supercritical state turns into gas when it leaks into the environment. Usually, carbon dioxide cannot harm the environment as it is an integral part of the vital activity of living organisms and is presented in the environment in certain quantities.

It is worth noting that such gas method combines a positive effect of the issue of carbon dioxide utilization and the problems of global warming caused by CO₂ emissions. The source of this agent are usually various power plants, where this component is captured after the combustion of natural hydrocarbon gas.

Based on the results of the analysis of the world experience in applying the injecting carbon dioxide technology into oil-saturated formations, the main parameters affecting the increase in oil recovery factor, as well as their boundary values, were identified:

1. Porosity, % (15~25);
2. Permeability, mD (10~50);
3. Pressure, Мpa (10~20);
4. Temperature, oS (60~100);
5. Viscosity, sDr (1.5~10) [2].

In addition to the main positive factors, the method has negative effects of exploitation. The main drawback is the predisposition to cause rapid corrosion of the metal. Well are usually equipped with corrosion-resistant equipment, as well as equipment for storage, injection into the reservoir and transportation of carbon dioxide while an application of this method.

Moreover, the unpredictability of the process of dissolving carbon dioxide is also can be considered as a meaningful disadvantage. If carbon dioxide is not completely mixed with oil, only heavier fractions remain in the oil, since carbon extracts light hydrocarbons from it. This can result in decrease of the oil mobility, which significantly complicates its subsequent extraction [3].

The last but not the least fact is that carbon dioxide has an ability of forming crystallohydrates when saturated with water vapor, which, in turn, significantly complicates the process of pumping the agent, its storage and transportation. Moreover, the temperature of saturated oil can rapidly decrease with a growth of the carbon dioxide concentration. Consequently, it can lead to the formation of undesirable asphaltene-resinous-paraffin deposits during the development of deposits.

Список литературы

1. Проселков Е.Б., Проселков Ю.М. Физика пластов: учеб. пособие. учебное пособие/Кубань. гос. технол. ун-т. – Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2011. - 188 с.
2. Жданов И.И. Выявление зависимостей увеличения КИН при закачке в нефтенасыщенный пласт Со₂ от характеристик пласта / И. И. Жданов // Научный альманах Центрально-Черноземного региона. – 2022. – № 4-2. – с. 58-63. – РЕД. ХТКВРВ.
3. Трухина О.С. Опыт использования диоксида углерода для повышения нефтеотдачи пластов /О.С. Трухина, И.А.Синцов // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – с. 205-209.
4. Алтунина Л.К., Кувшинов В.А. Физико-химические методы повышения нефтеотдачи нефтяных месторождений //Успехи химии. 2007. Том 76 (10). стр.1034 - 1052.

5. Гафаров Р.Р. Увеличение добычи конденсата при закачке газообразных реагентов в пласт / Р.Р. Гафаров, В. Л. Малышев // Булатовские чтения. – 2022. – Том 1. – с. 177-181. – ЭДН АЙУДАК.
6. Афанасьев С.В. Диоксид углерода как реагент интенсификации добычи нефти / С.В. Афанасьев, В. А. Волков // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2020. – № 8(104). – С. 30-34. – РЕД. НОМУXF.

References

1. Proselkov E.B., Proselkov Yu.M. Formation physics: textbook. manual / Kuban. gos. technol. un-T. – Krasnodar: Publishing house of KubSTU, 2011 – 188 p.
 2. Zhdanov I. I. Identification of the dependences of the increase in KIN when injected into an oil-saturated formation of Co 2 on the characteristics of the formation / I.I.Zhdanov//Scientific Almanac of the Central Chernozem region. – 2022. – No. 4-2. – pp. 58-63. – EDN XTKBPW.
 3. Trukhina O. S. The experience of using carbon dioxide to increase oil recovery / O. S. Trukhina, I. A. Sintsov// Successes of modern natural science. – 2016 – No. 3 – pp. 205-209.
 4. Altunina L.K., Kuvshinov V.A. Physico-chemical methods of increasing oil recovery of oil fields //Advances in chemistry. 2007. Vol.76 (10). pp.1034 - 1052.
 5. Gafarov R. R. Increase in condensate production during injection of gaseous agents into the reservoir/R.R. Gafarov, V. L. Malyshev // Bulatovskie readings. – 2022. – Vol. 1. – pp. 177-181. – EDN AIUDAQ.
 6. Afanasyev, S. V. Carbon dioxide as a reagent of oil production intensification / S. V. Afanasyev, V. A. Volkov // Business Journal Neftegaz.RU. – 2020. – № 8(104). – pp. 30-34. – EDN НОМУXF.
-



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 62

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕКОНСТРУКЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ АКТИВОВ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ РФ

Дуйцев А.Н.

ФГБОУ ВО "ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В.И. ЛЕНИНА", Иваново, Россия (153003, город Иваново, Рабфаковская ул., д.34), e-mail: alexandr007_08@mail.ru

В настоящей статье анализируются специфические вопросы обоснования необходимости проведения масштабной реконструкции (технического перевооружения, модернизации) тепловых электрических станций (ТЭС) РФ. Выявлены основные факторы, которые не учитываются при прогнозировании величины спроса на пиковую электрическую мощность. Обоснована возможность бездефицитного энергоснабжения российской экономики и модернизация тепловой генерации за счет уже существующих механизмов конкурентного отбора мощности (КОМ) и рынка за сутки вперед (РСВ).

Ключевые слова: Модернизация, реконструкция, техническое перевооружение, пиковая электрическая мощность, тепловые электрические станции (ТЭС), теплоэлектроцентрали, теплоснабжение, договор на поставку мощности (ДПМ), конкурентный отбор мощности (КОМ).

PROSPECTS FOR RECONSTRUCTION AND MODERNIZATION OF PRODUCTION ASSETS OF HEAT GENERATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

Duitsev A.N.

IVANOVO STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY NAMED AFTER V.I. LENIN, Ivanovo, Russia (153003, Ivanovo, Rabfakovskaya st., 34), e-mail: alexandr007_08@mail.ru

This article analyzes the specific issues of substantiating the need for large-scale reconstruction (technical re-equipment, modernization) of thermal power plants (TPP) of the Russian Federation. The main factors that are not taken into account when forecasting the demand for peak electrical power are identified. The possibility of a deficit-free energy supply to the Russian economy and the modernization of thermal generation due to the already existing mechanisms of competitive power take-off (COM) and the market for the day ahead (RSV) is substantiated.

Keywords: Modernization, reconstruction, technical re-equipment, peak electric power, thermal power plants (TPP), thermal power plants, heat supply, power supply contract (DPM), continuous power take-off (COM).

Механизмы привлечения инвестиций в модернизацию объектов теплоэнергетического комплекса должны основываться на необходимости обеспечения "точек роста" экономики, представленных на Рисунке 1.



Рисунок 1 – «Точки роста» развития механизмов привлечения инвестиций на модернизацию теплоэнергетического комплекса

Основания для принятия решения о потребности проведения масштабной реконструкции (технического перевооружения, модернизации) тепловых электрических станций в ЕЭС России сформулированы в Генеральной схеме размещения объектов до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2017 г. № 1209-р в объеме до 76 ГВт тепловых электрических станций до 2035 года [1].

К основным элементам программы реконструкции (технического перевооружения, модернизации) предлагается отнести:

- конкурентный отбор проектов реконструкции (технического перевооружения, модернизации) тепловых электрических станций в рамках утверждённых ежегодных квот (объемных и стоимостных). Объем ежегодно вводимой по программе мощности с 2022 года должен составлять оценочно не более 3-4 ГВт в год;
- участие в отборе теплофикационных и конденсационных электрических станций, выработавших нормативный (плановый) парковый ресурс не менее чем на 125 %, и при этом имеющих показатель востребованности (включенности) за последние 2 года не менее 60 %;
- отбор проектов на реконструкцию (техническое перевооружение, модернизацию) тепловых электрических станций должен быть организован на конкурентных принципах, отвечающих требованиям оптимизации (снижения) совокупной стоимости проектов для потребителей;
- сравнение стоимости реализации проектов с учетом прогнозной выручки от продажи электрической и тепловой энергии, вырабатываемой на генерирующих объектах, в отношении которых подана заявка на конкурс;
- определение типовых проектных решений и оценка их стоимости на основе эталонов, рассчитанных независимыми экспертами;
- оплату мощности только после полного исполнения обязательств по вводам мощности и подтверждения реализации заявленных мероприятий;

- отсутствие ограничений на реализацию расширенного перечня работ по реконструкции (техническому перевооружению, модернизации), относительно оплачиваемого в рамках программы модернизации и/или реализацию более дорогих технических решений, относительно типовых, принятых при определении предельных уровней затрат, при условии финансирования разницы за счет собственника оборудования;
- ответственность инвестора за неисполнение обязательств по договору реконструкции (техническому перевооружению, модернизации) генерирующих мощностей тепловой электрической станции;
- условия договора на реконструкцию (техническое перевооружение, модернизацию) мощностей должны содержать обязательства собственника поддерживать указанное оборудование в готовности вырабатывать электрическую энергию не менее 15 лет с даты ввода в эксплуатацию объекта;
- возврат вложенных средств осуществляется за период 15 лет исходя из базовой доходности, которая будет установлена Правительством Российской Федерации.

Также обсуждается увеличение срока проведения конкурентного отбора мощности (КОМ) до начала поставки мощности по его итогам с 4 до 6-ти лет, что позволит увеличить горизонт планирования и принятия инвестиционных решений в рамках ценовых параметров КОМ.

Минэкономразвития имеет свой сценарий модернизации тепловой электроэнергетики, названный «Инфраструктурная ипотека». По мнению Минэкономразвития, основные положения программы модернизации которого представлены на Рисунке 2.



Рисунок 2 – Элементы программы «Инфраструктурная ипотека», предложенной Минэкономразвития

Принципами конкурса предлагается принять:

- залповый отбор на условиях максимальной конкуренции;
- максимальное снижение капитальных вложений и нормы доходности;
- максимальный объем привлеченных инвестиций с учетом финансовых ограничений.

На предварительном этапе предлагается оценить объем средств, реально высвобождающихся в связи с окончанием программы договоров на поставку мощности (ДПМ) с выполнением требования не превышения темпов инфляции, с учетом реализации существующих программ по АЭС, заводов по сжиганию ТБО, региональных надбавок, планов развития электросетей, динамики роста сбытовых надбавок. Учет всех этих факторов может весьма существенно снизить возможности регулируемых инвестиционных механизмов программы модернизации.

На первом этапе залпового конкурса Минэкономразвития предлагает провести отбор по капитальным затратам, при этом устанавливается минимум по капзатратам на основе эталонов затрат. На этом этапе предлагается привлечь потребителей, которые могут принять участие в отборе того или иного проекта.

На втором этапе среди проектов, отобранных по критерию полной стоимости строительства (CAPEX), отбираются проекты по доходности. При этом потребитель может на первом этапе либо согласиться с CAPEX, предлагаемым генератором, либо, подать минимальную заявку и тем самым вынудить его на следующем этапе подавать завышенную доходность. В рамках конкуренции возможно снижение стоимости итоговой цены электроэнергии. Также могут сравниваться проекты с разной глубиной модернизации.

Срок обязательств по программе модернизации предлагается зафиксировать в 25 лет, с тем же сроком возврата инвестиций. Универсальность для участия в конкурсе всех типов генерации позволяет, в частности ТЭЦ, иметь дополнительные инвестиционные преимущества за счет продажи тепловой энергии.

Директивное использование завышенных прогнозных данных из Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики от 22 февраля 2008 года уже привело к избыточным нерыночным инвестициям в рамках программы договоров о предоставлении мощности на оптовый рынок электроэнергии и мощности в 2009 – 2023 гг.

Методология прогнозирования потребности в пиковой мощности, используемая разработчиком Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики, является ошибочной, расчёт спроса на мощность осуществляется без учёта:

- потенциала повышения уровня загрузки (КИУМ) тепловой генерирующей мощности (с текущего уровня 46,7% до прежнего, более эффективного – 52-55% и более), что позволяет увеличить выработку электроэнергии без увеличения объёмов установленной мощности на 70 - 90 млрд кВт/ч (месячный объём электропотребления в ЕЭС России);
- существенного улучшения регулировочных возможностей Единой энергосистемы в связи с ростом числа и объёмов мощности генерирующих объектов, развития топологии электрической сети в результате масштабных инвестиций последних десяти лет (для расчётов объёмов необходимой генерирующей мощности используются устаревшие завышенные плановые нормативные коэффициенты резервирования советского периода – от 17%);
- потенциала развития малой и распределённой энергетики, включая ВИЭ (замещение распределёнными энергоресурсами не менее 36 ГВт централизованной мощности к 2035 году), а также развития технологий производства, передачи, хранения и потребления электроэнергии, повышения энергоэффективности экономики.

В результате расчёты, используемые для новой Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики на 2017-2035 годы, уже сейчас существенно разошлись с реальной ситуацией в отрасли. На горизонте 2022-2025 гг. сохраняются значительные избытки мощности, никакого дефицита в энергосистеме нет. В ЕЭС России наблюдается постепенное уплотнение графика нагрузки и стагнация пика потребления мощности (наблюдается незначительный рост электропотребления при одновременном снижении спроса на пиковую мощность промышленными потребителями).

Согласно базовому отраслевому документу, являющемуся основой для формирования инвестиционных программ субъектов электроэнергетики – Схеме и программе развития ЕЭС России на 2017 – 2023 гг., утвержденной приказом Минэнерго России от 01.03.2017 г. №143 [2], балансовый избыток мощности в 2023 году по ценовым зонам оптового рынка (Европейская часть России, Юг, Урал и Сибирь) составит более 52 ГВт. С учетом системных ограничений, экспортных перетоков и недоступной мощности, чистый избыток мощности составит более 26,2 ГВт.

Именно Схема и программа развития Единой энергетической системы России, согласно пункту 24 Постановления Правительства Российской Федерации от 17 октября 2009 г. № 823 «О схемах и программах перспективного развития электроэнергетики» используется в качестве основы для формирования субъектами электроэнергетики инвестиционных программ в части объектов электроэнергетики, учтенных в схеме развития Единой энергетической системы России по итогам проведения конкурентного отбора мощности, а также для формирования предложений по корректировке Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики, что не соответствует предложениям Минэнерго России.

Необходимость возврата к нерыночным доплатам по механизму, аналогичному договорам о предоставлении мощности (ДПМ), в связи с недостаточностью действующих рыночных механизмов для реализации проектов модернизации тепловой генерации, не подтверждается.

Генерирующий комплекс имеет достаточные ресурсы для содержания и обновления мощностей в рамках действующих механизмов и значительный потенциал для повышения собственной эффективности. Рыночная выручка генерирующих компаний складывается из оплаты мощности в конкурентном отборе мощности и рынке электроэнергии, основанных на маргинальном принципе ценообразования – более эффективные объекты получают сверхприбыль в связи с оплатой мощности и электроэнергии по самой дорогой заявке поставщика. Механизм маргинального ценообразования создавался именно для усиления стимулов генерирующих компаний к эффективности через направление маргинальной прибыли на создание новых и модернизацию существующих мощностей [3-4].

Предлагаемые Минэнерго нерыночные доплаты на модернизацию ТЭС ведут к необоснованному удвоению доходных источников энергетиков и не могут быть утверждены без отмены маргинального ценообразования в КОМ и РСВ.

Бездефицитное энергоснабжение российской экономики и модернизация тепловой генерации уже обеспечены действующими механизмами:

- КОМ и РСВ, рынок теплоснабжения полностью закрывают потребность в текущем содержании и обновлении генерирующих мощностей;

- для замены генерирующих объектов с низкой рыночной эффективностью имеется механизм присвоения временного статуса «вынужденной» генерации с регулируемым тарифом на мощность на период замещения этого объекта более эффективным решением;
- для предупреждения проблемы локальных дефицитов генерирующей мощности в 2015 году был утверждён и запущен механизм конкурсного отбора проектов строительства новой генерирующей мощности (КОМ НГО). Отборы проводятся заблаговременно на основании данных о локальном дефиците из Схемы и программы развития ЕЭС (отборы проектов строительства генерации в Республике Крым и на Таманском полуострове);
- в 2017 году утверждена методология ценообразования по методу «альтернативной котельной» на рынках теплоснабжения, открывшая дополнительные возможности для инвестиций в тепловую генерацию.

Таким образом, отказ от использования и развития существующих рыночных механизмов необходимым образом требует пересмотра функционирующих моделей оптового рынка электроэнергии и мощности и ликвидации маржинального ценообразования с переводом этих секторов на тарифное регулирование, что недопустимо исходя из идеологии осуществленных рыночных преобразований в энергетике РФ.

Список литературы

1. Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. Утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2017 г. № 1209-р.
2. Рекомендации «круглого стола» на тему: «Модернизация объектов электрогенерации: источники финансирования». Утв. Решением комитета Госдумы РФ №3.25-5/65 от 12.04.2018
3. Энергетическая политика. [Электронный ресурс], URL: <https://energypolicy.ru/v-bushuev-n-novikov-infrastrukturnye-nakopiteli-v-energetike/energetika/2020/14/20/>
4. Приказ Минэнерго России №143 от 01.03.2017 «Об утверждении схемы и программы развития ЕЭС России на 2017-2023 гг.»

References

1. General layout of electric power facilities until 2035. Approved. By Order of the Government of the Russian Federation dated 09.06.2017 No. 1209-p
 2. Recommendations of the "round table" on the topic: "Modernization of power generation facilities: sources of financing". Approved by the Decision of the State Duma Committee of the Russian Federation No. 3.25-5/65 dated 12.04.2018
 3. Energy policy. [Electronic resource], URL: <https://energypolicy.ru/v-bushuev-n-novikov-infrastrukturnye-nakopiteli-v-energetike/energetika/2020/14/20/>
 4. Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 143 dated 01.03.2017 "On approval of the scheme and Program for the development of the UES of Russia for 2017-2023."
-



Международный журнал информационных технологий и
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 536.2

СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

¹Шинкарев В.В., Юлусов К.С., Полуэктов Е.К., Манихин А.П.

ФГБОУ ВО "ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", Оренбург, Россия
(460018, город Оренбург, проспект Победы, д.13), e-mail: ¹maildlyvsego56@mail.ru

В современной энергетике аккумулирование энергии является одной из важных и перспективных задач. Важность данной темы обуславливается широким внедрением возобновляемых источников энергии в энергетическую страну. Одним из важных вопросов является уменьшение потерь на саморазряд аккумулятора и увеличение ёмкости в электрохимических аккумуляторах. Развитие электромобилей также означает необходимость в модернизации и увеличении ёмкости аккумуляторов, чтобы максимальная дальность электрокара была больше. В данной статье описаны современные системы аккумулирования и накопления энергии. Также представлены перспективные системы накопления энергии.

Ключевые слова: Электрохимические системы аккумулирования энергии, накопители энергии, аккумуляторы, аккумулирование энергии.

MODERN ELECTROCHEMICAL POWER STORAGE DEVICES

¹Shinkarev V.V., Yulusov K.S., Poluektov E.K., Manikhin A.P.

ORENBURG STATE UNIVERSITY, Orenburg, Russia (460018, Orenburg, prospekt Pobedy, 13), e-mail: ¹maildlyvsego56@mail.ru

In modern energy, energy storage is one of the important and promising tasks. The importance of this topic is due to the widespread introduction of renewable energy sources into the country's energy sector. One of the important issues is to reduce battery self-discharge losses and increase the capacity in electrochemical batteries. The development of electric vehicles also means the need to modernize and increase the capacity of batteries so that the maximum range of an electric car is greater. This article describes modern energy storage and storage systems. Promising energy storage systems are also presented.

Keywords: Electrochemical energy storage systems, energy storage, accumulators, energy storage.

В 21 веке мировое потребление электроэнергии возрастает в несколько раз в течение каждого десятилетия. Это связано с увеличением численности населения, с развитием и внедрением новых технологий в повседневный быт людей, что и приводит к увеличению потребляемой энергии. Рост потребляемой мощности сопровождается и ростом генерируемой мощности, поэтому происходит строительство новых электростанций на невозобновляемых источниках энергии, расширение альтернативной энергетики, а также строительство новых атомных электростанций или электрических станций на возобновляемых источниках энергии: солнечная энергия, энергия ветра, энергия потока воды, волн (реки, моря, океаны), энергия тепла Земли (геотермальная энергия), энергия на биогазе, водородная энергетика.

С генерацией электроэнергии человечество не испытывает проблем, однако актуальным является вопрос об аккумулировании электроэнергии, как тепловой, так и электрической энергии. На сегодняшний день ведётся активная работа в области модернизации различных накопителей энергии, а также разработка новых типов аккумуляторов и накопителей, которые могут отличаться от прежних химическим составом, конструктивными особенностями и другими свойствами.

Накопители энергии можно разделить по виду энергии, с помощью которого происходит аккумулирование энергии:

- Механические (ГАЭС, аккумулирование энергии с помощью сжатого воздуха, маховые накопители);
- Химические (электрохимические аккумуляторные батареи, топливные элементы);
- Электрические (Конденсаторы, суперконденсаторы, сверхпроводниковые магнитные аккумуляторы)

В данной статье проанализированы существующие виды электрохимических аккумуляторов, которые применяются в различных сферах жизни людей. Рассмотрим также концептуальные разработки новых типов накопителей энергии, которые направлены в сторону накопления энергии в промышленных масштабах.

Современные электрохимические накопители электроэнергии обладают относительно небольшой ёмкостью электрической батареи, которая не может быть использована для резервного электроснабжения в промышленных масштабах. На сегодняшний день электрохимические аккумуляторы используются в огромном количестве в различных видах автомобильной техники, в смартфонах и других типах гаджетов, которые люди эксплуатируют ежедневно. В связи с развитием электромобилей имеется потребность в создании больших по ёмкости системы аккумуляторов для электромобилей, которые имеют запас хода до 500-600 км без подзарядки. Сейчас нормальной величиной ёмкости электромобиля считается батарея с ёмкостью около 60 кВт/ч. У премиальных моделей электрокаров ёмкость может достигать до 100 кВт/ч. [1]

Виды электрохимических аккумуляторов

Рассмотрим наиболее распространенные виды электрохимических аккумуляторов.

1. Свинцово-кислотные аккумуляторы



Рисунок 1 – Свинцово-кислотный аккумулятор

Свинцово-кислотные аккумуляторы занимают самую большую долю рынка электрохимических накопителей, являясь наиболее распространенным видом аккумулирования электроэнергии. Несмотря на свои низкие удельные характеристики (удельная энергия до 40 Вт*ч/кг), свинцово-кислотные аккумуляторы обладают самой низкой стоимостью киловатт-часа запасаемой электроэнергии и поэтому широко используются в различных видах автотранспорта в качестве АКБ стартовых генераторов.

Принцип работы основан на том, что заряженный отрицательный электрод из свинца (Pb) и положительный электрод из сульфата свинца (Pb(SO₄)₂) погружают в электролитический раствор, который содержит разбавленную серную кислоту. В процессе разряда электроны выталкиваются из ячейки, так как на отрицательном электроде образуется сульфат свинца, а электролит восстанавливается до воды.

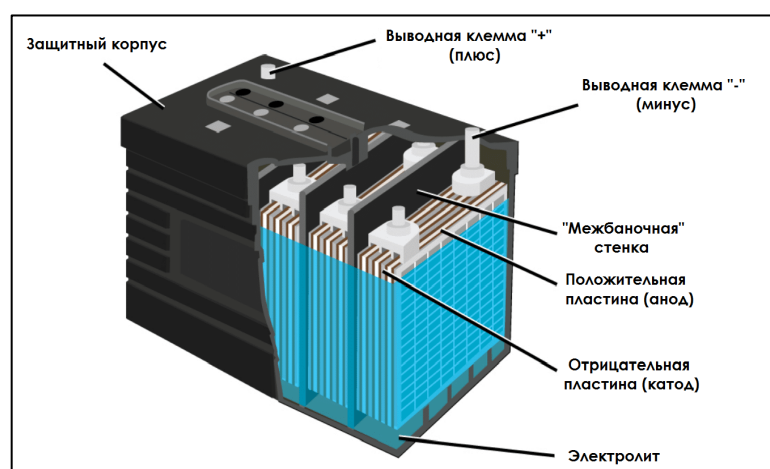


Рисунок 2 – Внутреннее устройство свинцово-кислотного аккумулятора

Технология свинцово-кислотных аккумуляторов получила широкое развитие за счёт простоты и надёжности конструкции, а также низкой себестоимости. Недостатками данного типа аккумуляторов являются низкая плотность энергии, а также быстрая разрядка при отрицательных температурах, что приводит к малому сроку службы.

Данный тип аккумуляторов применяется во многих сферах жизни людей: в авто- и мототехнике, в авиации, на флоте, на железнодорожном транспорте. Кроме того, они применяются для систем бесперебойного питания, могут использоваться как аварийные или резервные источники питания. Этот вид аккумуляторов вполне подойдет для обеспечения автономной работы в случае отключения энергии как в жилом доме, так и на котельных крышного типа в многоквартирных жилых домах [3].

2. Никель-кадмиевая аккумуляторная батарея



Рисунок 3 – Внешний вид никель-кадмиевой аккумуляторной батареи

Никель-кадмиевые аккумуляторы имеют более высокую удельную энергоёмкость, в сравнении со свинцово-кислотными аккумуляторами до 65 Вт*ч/кг. Их достоинством является надёжность работы при отрицательных температурах. Срок службы таких АКБ составит 8-10 лет!

В никель-кадмиевых аккумуляторах в качестве катода используются гидроксид оксида никеля NiOH с графитовым порошком. Анодом является гидроксид кадмия CdOH или металлический кадмий в виде порошка. Кадмий является токсичным элементом и был запрещен Европейским союзом в 2004 году для большинства видов использования. На смену никель-кадмиевым аккумуляторам пришли никель-металлогидридные.

Сфера применения: электромобили, трамваи и троллейбусы, морские и речные суда. В повседневности используются в шуруповёртах, гайковертах и дрелях, однако все чаще заменяются наиболее энергоэффективными литий-ионными аккумуляторами.

3. Никель-металлогидридная батарея



Рисунок 4 – Внешний вид никель-металлогидридной аккумуляторной батареи

Никель-металлогидридный накопитель состоит из: анода, который является водородным металлогидридным электродом (обычно гидрид никель лантана LaNi_5 или никель лития Ni-Li). Электролитом может быть: гидроксид калия (KOH), катод оксид никеля NiO .

Первые никель-металлогидридные батареи появились в продаже в 1989 году. На сегодняшний день данный тип аккумуляторов считается обычным потребительским и промышленным товаром. Аккумуляторная батарея вместо кадмия (Cd) имеет для отрицательного электрода водородопоглощающий сплав [3].

Сфера применения: аккумуляторные батареи для различной электронно-бытовой техники: фонарики, пульты ДУ, рации, GPS навигаторы, часы, фото- и видеокамеры, портативные медиапроигрыватели, измерительные приборы, детские игрушки и т. д.

4. Литий-ионный аккумулятор



Рисунок 5 – Внешний вид литий-ионной аккумуляторной батареи

Литий-ионный АКБ является наиболее эффективным и распространенным накопителем энергии в современном мире. Широкое применение получил в сфере электронных устройств, таких как: смартфоны, ноутбуки, цифровые фотоаппараты и видеокамеры, а также электромобили. Главным преимуществом является одно из лучших соотношений энергии к массе и очень медленный саморазряд при его неиспользовании. 1 кг лития способен хранить 3860 А*ч. Удельная энергоёмкость литий-ионных АКБ в 6-7 раз выше, чем у свинцово-кислотных аккумуляторов [4].

5. Литий-железо-фосфатный аккумулятор

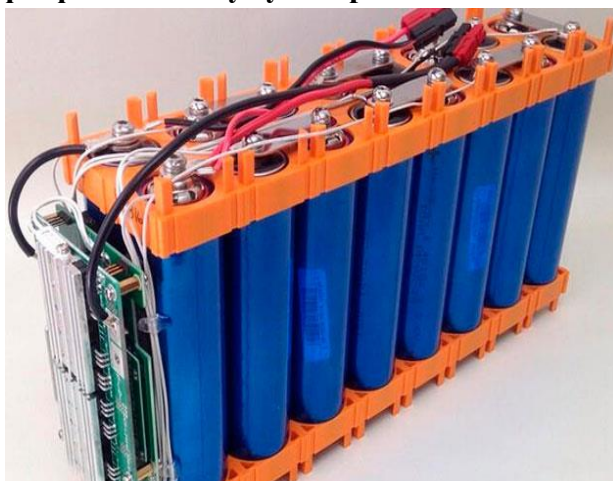


Рисунок 6 – Внешний вид литий-железо-фосфатной аккумуляторной батареи

Дешёвым аналогом литий ионного АКБ является литий железо-фосфатный накопитель, который имеет способность к быстрой зарядке. Однако напряжение таких аккумуляторов ниже 3 В.

Данный аккумулятор имеет устройство рулонного типа, состоящего из 3 лент: анода, сепаратора с электролитом и катода, скрученных в несколько слоёв. Все слои из меди и алюминия соединяются отдельно в один контакт, положительный сверху, а отрицательный снизу. Когда элемент начинает разряжаться из-за нагрузки, ионы лития переходят через сепаратор от катода к аноду и отдают накопленный заряд, приводящий к реакции окисления. При зарядке ионы лития проходят через сепаратор от анода к катоду и аккумулируют заряд, при этом происходит процесс восстановления.

Малая емкость заряда - недостаток этих аккумуляторов. Однако при низких температурах данный тип АКБ более термоустойчив и эффективно показывает свою работоспособность [5].

6. Литий-ионный полимерный аккумулятор

Полимерные литий-ионные аккумуляторы являются усовершенствованной модификацией обычного литий-ионного аккумулятора. Данный тип аккумуляторов имеет малый вес и может быть изготовлен в любой форме.

Отличие между литий-ионным и литий-ионным полимерным заключается в том, что в литий полимерном в качестве электролита используется не жидкость, а пористый химический или гелеобразный электролит. Благодаря этому аккумуляторы имеют различную форму

исполнения. Ещё одним преимуществом является медленный саморазряд. Однако в отличие от литий-ионных аккумуляторов, они имеют слабовыраженный эффект памяти, быстрее теряют максимальную ёмкость заряда, и являются более дорогим устройством.

Оба этих аккумулятора сильно подвержены воздействию высоких и низких температур. При перегреве существует риск взрыва, а при низкой идет существенная потеря в ёмкости, как правило временная, но при регулярных низких температурах есть риск повредить батарею [6].

7. Литий-титанатный аккумулятор

Данный тип аккумулятора из сегмента литий-ионных аккумуляторов, но в ней уже отрицательный электрод сделан из литиевой соли титанатной кислоты ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$). Такая модернизация стала прорывной в сегменте альтернативной энергетики, ведь литий-титанатные батареи:

- Могут заряжаться за 12-15 минут;
- Допускают уровень разряда до 20% (80% отдаётся);
- Обеспечивают до 25000 циклов зарядки!
- Саморазряд около 0,6% в месяц;
- Диапазон рабочих температур от -30 до + 60°C.

У литий-титанатных аккумуляторов есть слабое место – напряжение одной ячейки 2,4 V. Такие низкие показатели напряжения требуют применения специальных контроллеров заряда, что приводит к снижению абсолютной энергоёмкости в пересчёте на единицу массы. Однако их самое главное преимущество - высокая продолжительность работы в системах автономного энергоснабжения. Стоимость данного аккумулятора ёмкостью 100 А*ч колеблется в районе 60 000 - 90 000 рублей в зависимости от напряжения АКБ.

8. Конденсаторы

Простые конденсаторы имеют огромную скорость накопления и отдачи энергии. Для стабильной работы конденсаторов им не важен определенный температурный режим. Суммарная ёмкость конденсаторных батарей увеличивается до нужной величины путём параллельного подключения, как у традиционных АКБ. Делятся на 2 основных класса: неполярные (сухие) и полярные (содержат жидкий электролит).

Однако у них есть 2 основных недостатка. Первый недостаток – это маленькая удельная плотность запасаемой энергии и как следствие небольшая ёмкость. Вторым недостатком - время хранения заряда составляет несколько секунд или минут, крайне редко, когда заряд может быть в запасе на несколько часов. В виду этих недостатков, сфера применения у них ограничена кратковременным накоплением заряда, достаточным для выпрямления, коррекции и фильтрации тока в электротехнике.

9. Суперконденсаторы



Рисунок 7 – Внешний вид суперконденсаторов

Суперконденсаторы, также называемые электрическими двухслойными конденсаторами или ультраконденсаторами, являются общими терминами для семейства электрохимических конденсаторов, которые не имеют обычных твердых диэлектриков. Ёмкость определяется двумя параметрами аккумулирования: двухслойная емкость и псевдоёмкость.

По своим свойствам суперконденсаторы находятся в разрыве между обычными конденсаторами и аккумуляторными батареями. Они способны накапливать наибольшее количество энергии на единицу объёма или массы (плотности энергии) среди простых конденсаторов. Суперконденсаторы поддерживают до 10 000 фарад / 1,2 В, до 10 000 раз больше, чем у электролитических конденсаторов, но выдают или принимают менее половины мощности в единицу времени (плотность мощности).

Удельная энергия и удельная плотность энергии суперконденсаторов составляет примерно 10 % в сравнении с АКБ, а их плотность по мощности обычно в 10-100 раз больше. Суперконденсаторы обладают более короткими циклами зарядки / разрядки, а также способны выдерживать большее число циклов зарядки и разрядки.

Суперконденсаторы поддерживают широкий спектр применений, включая:

- низкий ток питания для резервного копирования памяти в статической оперативной памяти;
- питание для автомобилей, автобусов, поездов, кранов и лифтов, в том числе рекуперация энергии при торможении, кратковременное накопление энергии и подача питания в импульсном режиме.

10. Алюминий

Потенциальным накопителем энергии могут быть АКБ, имеющие в своём составе электроды из алюминия, так как электрохимический эквивалент алюминия почти в 4 раза больше, чем у лития. При взаимодействии алюминия с водой происходит выделение электрической энергии с образованием водорода. Для возникновения реакции алюминия с водой он должен быть отделен от его естественного оксидного слоя. Данный процесс требует измельчения, а также химических реакций с едкими веществами или сплавами. При реакции с образованием водорода побочным продуктом является оксид алюминия, который может быть переработан обратно в алюминий в рамках процесса Холла-Херулта, делая химическую реакцию теоретически возобновляемой. При использовании электроэнергии от ВИЭ процесс

Холла-Херулта запускается и алюминий может использоваться для накопления энергии. Эффективность такого процесса выше, чем при прямом солнечном электролизе.

11. Проточная батарея

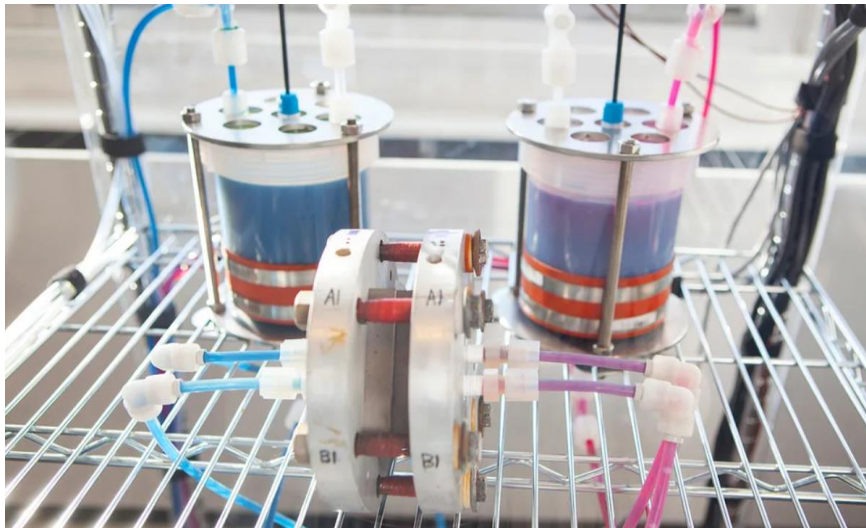


Рисунок 8 – Внешний вид проточной батареи

Принцип работы проточной батареи заключается в пропускании раствора через мембрану, где происходит обмен ионов для зарядки / разрядки элемента. Напряжение тока химически определено уравнением Нернста, и на практике составляет от 1,0 до 2,2 В. Электрическая ёмкость накопителя зависит от объёма ёмкостей, в которых находится электролит.

Проточная батарея технически близка как к топливному элементу, так и элементу электрохимического аккумулятора. Коммерческие предложения проточных батарей на рынке направлены на длительный полупериод хранения, например, для резервного энергоснабжения.

Перспективные системы аккумулирования

На сегодняшний день существует и развивается целый класс химических источников тока, таких как *металло-воздушные элементы*, одним из которых являются *цинково-воздушные гальванические элементы* с расходуемым цинковым анодом, выпускающиеся ограниченными сериями. Эти элементы питания небольшого размера продают компании Duracell, Eveready, Varta, Matsushita, GP, а также отечественное предприятие «Энергия». Другие металло-воздушные системы находятся на стадии разработок и тестовых испытаний.

Активно разрабатываются перезаряжаемые воздушно-цинковые аккумуляторы, принцип работы которых основан на реакции восстановления цинка (Zn) при прохождении тока на аноде. В перспективе учёные планируют получить более стабильный источник аккумулирования энергии с низкой степенью саморазряда.

Редокс аккумулятор (от англ. reduction - восстановление, oxidation – окисление) или *проточный аккумулятор* состоит из ёмкостей с электролитами, вспомогательных узлов (насосы для прокачки электролита по контурам анодов и катодов) и обратимых электрохимических ячеек с ионообменными мембранами. Принцип работы: на одном из электродов протекает обратимая реакция окисления одного из элементов пары с передачей

электрона (через внешнюю цепь) и протона (через ионообменную мембрану) на второй электрод, где происходит обратный процесс восстановления второго элемента, находящегося в растворе. Перезарядка системы происходит за счёт обратного процесса (подаётся внешнее напряжение на ячейки) или за счёт перезарядки системы новыми растворами. Наибольшее распространение получила система с использованием ванадия.

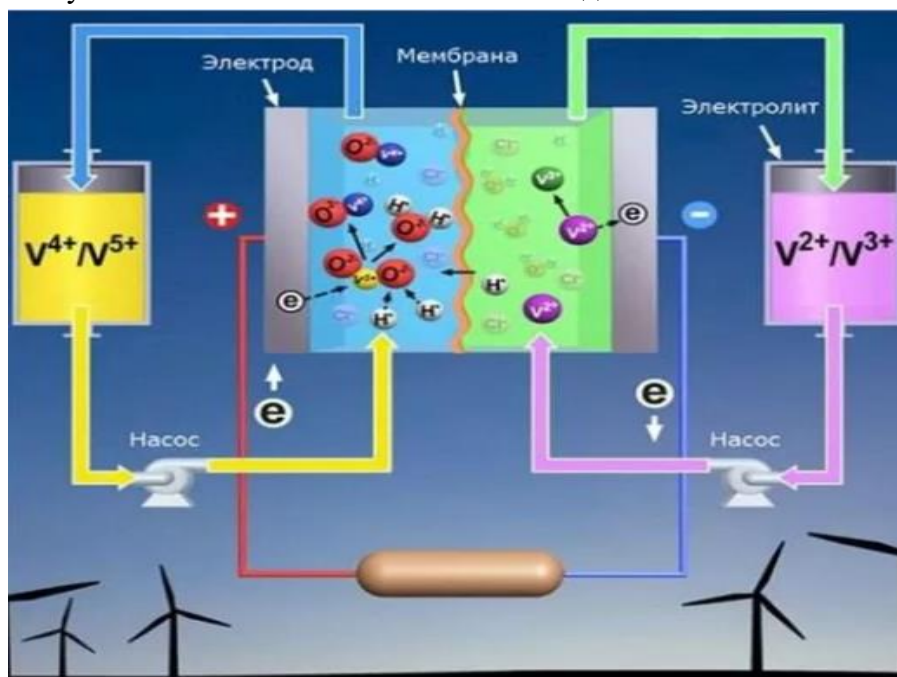


Рисунок 9 – Схема работы редокс-аккумулятора

Двойнослойный суперконденсатор (ДСК) состоит из двух пористых электродов из электронпроводящих материалов, разделенных заполненным электролитом сепаратором. Процесс аккумуляции начинается с разделения заряда на двух электродах с достаточно большой разностью потенциалов между ними. Электрический заряд ДСК определяется ёмкостью двойного электрического слоя. Двойной электрический слой на поверхности каждого электрода представляет собой отдельный конденсатор. Между собой они соединены последовательно через электролит, являющийся проводником с ионной проводимостью.

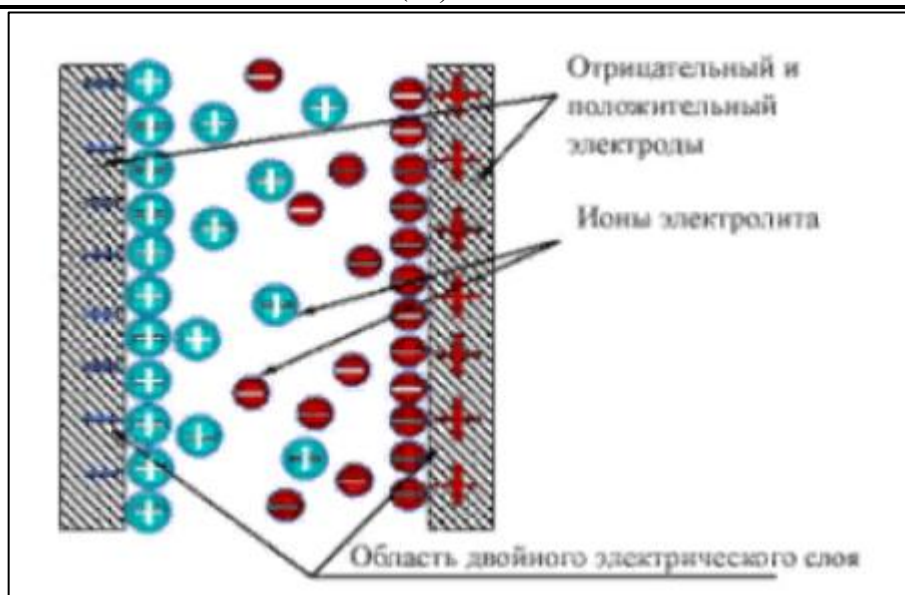


Рисунок 10 – Схематическое изображение двойнослойного суперконденсатора

Железно-никелевые аккумуляторы

В отличие от предыдущих моделей, это щелочная батарея, где положительный электрод железный, отрицательный электрод из гидрата окиси никеля, а электролит – концентрированный раствор гидроокиси калия и лития. У железно-никелевых АКБ есть слабое место – саморазряд достигает 35% в месяц и напряжение одной ячейки всего 1,2 V. Но зато по всем остальным параметрам у них нет конкурентов:

- Стандартная глубина разряда на 80% (остаётся 20%);
- Зарядка более высоким или низким током не влияет на ёмкость и продолжительность эксплуатации;
- Снижение ёмкости около 10% за 10 лет. Замена электролита восстанавливает первоначальную ёмкость (рекомендация производителя);
- Продолжительность работы железно-никелевой батареи измеряется не циклами, а годами! Производитель гарантирует 30-50 лет работы при доливе дистиллированной воды раз в месяц и замене электролита раз в 10 лет;
- Допускается превышение скорости разрядки в 4 раза без изменения характеристик.

Особую привлекательность железно-никелевым аккумуляторам даёт побочный эффект при зарядке. Дело в том, что около 30% энергии тратится на электролиз, с выделением водорода. В оптимальной комбинации, водород собирается в специальные металлогидридные баллоны, а потом может питать топливный элемент. В этой компоновке КПД железно-никелевого накопителя энергии повышается до 98%.

При соблюдении минимальных требований к профилактике, железно-никелевый аккумулятор покупается один раз и на всю жизнь. И цена не слишком высокая. Колеблется в районе 30 000 рублей за 100 А*ч.

Ванадиевый проточный аккумулятор

Это одна из последних разработок, который аккумулятором назвать сложно, ибо производители и разработчики называют его накопителем энергии. Даже ёмкость ванадиевых

аккумуляторов измеряется не Ампер-часами, а запасёнными киловаттами энергии. Но относится он именно к электрохимическим устройствам, хотя принцип его работы отличается от всего, что производилось раньше.

Схематично это можно представить, как два резервуара, разделённых мембраной. В них находится один и тот же раствор, но во время зарядки, элементы в каждом резервуаре, приобретают нужную валентность. Для ванадиевых аккумуляторов, рабочее вещество оксид ванадия, но в продаже уже несколько лет есть проточные АКБ на растворе бром-цинк, и даже цинк-церий.

У них уникальная масштабируемость – для увеличения энергоёмкости, надо только увеличивать объём раствора. Но зато они могут разряжаться на 100%, без вреда для рабочих характеристик. Во время испытаний, в Японии за два года провели 200000 циклов зарядки/разрядки ванадиевой батареи, и характеристики не изменились.

Их стоимость можно оценить несколько иначе. За ванадиевый аккумулятор 2,5 кВт/ч с дополнительным инвертором и контроллером мы вынуждены будем заплатить 15 000 долларов. В пересчете на сегодняшний курс это почти 1,5 миллиона рублей.

В Таблице 1 представлены основные характеристики электрических и электрохимических типов накопителей энергии.

Таблица 1 – Основные характеристики различных типов накопителей энергии

Технология накопления электроэнергии	Удельная энергоёмкость, Вт*ч/кг	Степень изученности	КПД, %	Количество рабочих циклов	Срок службы, лет	Саморазряд (%/мес)	Рабочий диапазон температур	Время заряда	Время разряда	Влияние на окружающую среду
Электрические										
Конденсатор	5-10	Серийное применение	60-65	Более 50000	Около 5	-	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Незначительно
Суперконденсатор	5	Хорошо изучено	95	Более 100000	10-15	-	От -60 до +65 °С	с	мин – ч	Почти нет
Сверхпроводниковый магнитный накопитель (SMES)	1-10	Ведутся исследования	95-98	Более 100000	Более 20	-	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Электрохимические										
Свинцово-кислотная АБ (Lead-acid)	25-40	Серийное применение	70-90	500-5000	3-15	20%	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Никель-кадмиевая АБ (NiCd)	45-65	Серийное применение	60-65	100-900	10-20	10%	От -50 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Никель-металлогидридная АБ (NiMH)	60-72	Серийное применение	70-75	300-500 (у некоторых до 1000)	10-20	10%	От -60 до +55 °С	мин – ч	мин – ч	Экологически безопасны
Литий-ионная АБ (Li-ion)	110-270	Серийное применение	85-90	500-600	3-5	2% (Зависит от температуры и степени заряда)	От -20 до +60 °С	мин – ч	мин – ч	Опасны
Литий-железо-фосфатный АБ (LiFePO ₄)	90-160	Серийное применение	85-90	1500-3000 (у некоторых до 8000)	10-20	20%	От -30 до +55 °С	мин – ч	мин – ч	Достаточно безопасны
Литий-ионная полимерная АБ (Li-ion)	60-120	Серийное применение	85-90	800-900	6-8	20% (в течении 2 лет)	От -20 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Пожароопасны и взрывоопасны

Литий-титанатная АБ (Li4Ti5O12)	100	Серийное применение	85-90	Более 15000	5-15	0,02% (в сутки)	От -60 до +60 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Проточная гибридная цинкбромная АБ (ZnBr)	70-145	Ведутся исследования	75	Более 5000	5-10	-	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Металло-воздушная АБ (Metal-air)	90-135	Ведутся исследования			5-10	100-250	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Незначительно
Проточная ванадиевая редокс АБ (VRB)	20-35	Начало серийного применения	65-75	15000-20000	10-20	Небольшой процент саморазряда	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Двойной суперконденсатор (ДСК)	-	Ведутся исследования	-	-	-	-	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Железо-никелевая АБ	20-50	Устаревшая технология. Ведутся исследования по улучшению эффективности данного типа АКБ	65	Более 12000	30-50	20-40	От -40 до +46 °С	мин – ч	мин – ч	Не содержат кадмия и свинца, что делает их более безопасными для окружающей среды, чем никель-кадмиевые и свинцово-кислотные аккумуляторы
Гибридные (UltraBattery)	-	Ведутся исследования	-	3000	7-15	Низкий саморазряд	От -40 до +40 °С	мин – ч	мин – ч	Средне
Натриево-серная АБ (NaS)	300-350	Серийное применение	89-90	200-400	5-7	-	От +300 до +350 °С	мин – ч	мин – ч	Средне

Список литературы

1. Т. Л. Кулова, И. И. Николаев, В. Н. Фатеев, А. Ш. Алиев. Современные электрохимические системы накопления энергии [Электронный ресурс]. // Kimya Problemleri. – 2018. - №1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-elektrohimicheskie-sistemy-akkumulirovaniya-energii>.
2. Зырянов В. М. Системы накопления энергии: Российский и зарубежный опыт [Электронный ресурс]. // Энергетическая политика. — 2020. — №6 (148). — Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-nakopleniya-energii-rossiyskiy-i-zarubezhnyy-opyt>.
3. Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика. – М.: Электроатомиздат, 1991, с. 46-47.
4. Кубарьков Ю. П. Проблемы и достижения технологии накопления энергии и ее применения в энергетических системах [Электронный ресурс]. // Инновационные процессы в науке и образовании. — 2019. — Том 1. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36692180>.
5. Пермьякова Д. К. Развитие технологий накопления и хранения энергии – основа для распространения ВИЭ [Электронный ресурс]. // Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — 2019. — Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/88153/1/eir_2019_151.pdf.
6. Яковлева Э. В. Развитие технологий накопления электрической энергии [Электронный ресурс]. // Молодой ученый. — 2017. — №50 (184). — Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/184/47286/>.

References

1. T. L. Kulova, I. I. Nikolaev, V. N. Fateev, A. Sh. Aliev. Modern Electrochemical Systems of Energy Accumulation [Elektronnyi resurs]. Kimya Problemleri. – 2018. - №1. – Mode of

- access: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-elektrohimicheskie-sistemy-akkumulirovaniya-energii>.
2. Zyryanov V. M. Sistemy okraveniya energii: Rossiyskiy i zarubezhnyy opyt [Energy accumulation systems: Russian and foreign experience]. Energy policy. — 2020. — №6 (148). - Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistemy-nakopleniya-energii-rossiyskiy-i-zarubezhnyy-opyt>.
 3. Korovin N.V. Electrochemical Energy. Moscow, Elektroatomizdat Publ., 1991, pp. 46-47.
 4. Kubarkov Y. P. Problems and achievements of energy accumulation technology and its application in energy systems. Innovative Processes in Science and Education. — 2019. — Volume 1. - Mode of access: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36692180>.
 5. Permyakova D. K. Development of Energy Accumulation and Storage Technologies – the Basis for the Spread of RES [Development of Energy Accumulation and Storage Technologies – the Basis for the Spread of RES]. Perm National Research Polytechnic University. — 2019. - Access mode: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/88153/1/eir_2019_151.pdf.
 6. Yakovleva E. V. Razvitie tekhnologii accumulating electric energy [Development of technologies for the accumulation of electric energy]. A young scientist. — 2017. — №50 (184). - Mode of access: <https://moluch.ru/archive/184/47286/>.
-