

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 4 / 2024, Vol. 16, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/58SAVN424.pdf>

2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Автомнов, Е. Г. Перспективы использования СПГ в качестве топлива для промышленного оборудования /
Е. Г. Автомнов, Е. А. Максимов, А. И. Гулевич, С. Е. Загорская, Д. Д. Кузьмин, А. С. Добронравов // Вестник
евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/58SAVN424.pdf>

For citation:

Avtomonov E.G., Maximov E.A., Gulevich A.I., Zagorskaya S.E., Kuzmin D.D., Dobronravov A.S. Prospects use of
LNG as a fuel for industrial equipment. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(4): 58SAVN424. Available at:
<https://esj.today/PDF/58SAVN424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 62-621.2

Автомнов Евгений Геннадьевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», п. Аякс, Россия
Доцент

E-mail: avtomonov.eg@dvfu.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1031730

Максимов Егор Андреевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», п. Аякс, Россия
E-mail: maksimov.ean@dvfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7896-8243>

Гулевич Александр Игоревич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», п. Аякс, Россия
E-mail: gulevich.ai@dvfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1400-4688>

Загорская Софья Евгеньевна

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», п. Аякс, Россия
E-mail: zagorskaia.se@dvfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6980-1697>

Кузьмин Даниил Дмитриевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», п. Аякс, Россия
E-mail: kuzmin.ddm@dvfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7665-4121>

Добронравов Александр Сергеевич

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных
технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург, Россия

E-mail: aleksandrdobronravov584@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4890-6314>

Перспективы использования СПГ в качестве топлива для промышленного оборудования

Аннотация. В последние десятилетия сжиженный природный газ стал важным элементом глобальной энергетической системы. Страны и компании, стремящиеся диверсифицировать источники энергии и снизить зависимость от традиционных

трубопроводных поставок, всё чаще обращаются к сжиженному природному газу как к альтернативному варианту. Использование сжиженного углеводородного топлива в качестве топлива для промышленного оборудования открывает перед предприятиями ряд значительных возможностей, а благодаря неоспоримым преимуществам перед другими видами углеводородного топлива и решить ряд важных вопросов, поставленных перед производством — экологичность и экономическая эффективность производства. В статье рассматриваются перспективы использования сжиженного природного газа в качестве топлива для промышленного оборудования. В связи с глобальными тенденциями перехода на более экологически чистые источники энергии и стремлением снизить углеродный след, такой вид углеводородного топлива становится все более востребованным видом топлива в промышленности. В работе анализируются ключевые преимущества использования сжиженного природного газа, такие как его высокая энергоэффективность, меньшие выбросы вредных веществ по сравнению с традиционными углеводородными топливами и экономическая эффективность. Также обсуждаются потенциальные сложности, связанные с транспортировкой, хранением и эксплуатацией в промышленных условиях. Особое внимание уделяется анализу успешных примеров внедрения технологий на промышленных предприятиях и оценке его влияния на устойчивое развитие. Делаются выводы о значительном потенциале сжиженного природного газа как топлива для промышленного оборудования, подчеркивая необходимость дальнейших исследований и разработок в этой области для преодоления существующих технических и экономических барьеров.

Ключевые слова: сжиженный природный газ; промышленное оборудование; топливо; экологически чистое производство; экономическая эффективность производства; углеводородное топливо; теплотворная способность углеводородного топлива

Введение

Современная промышленность сталкивается с множеством вызовов, связанных с необходимостью повышения энергоэффективности, сокращения эксплуатационных затрат и уменьшения воздействия на окружающую среду. В условиях ужесточающихся экологических норм и роста цен на традиционные виды топлива предприятия ищут альтернативные энергетические решения, которые могли бы удовлетворить их потребности без ущерба для производственных процессов. Одним из перспективных вариантов, привлекающих всё большее внимание, является использование сжиженного природного газа (СПГ) в качестве топлива для промышленного оборудования [1; 2].

Сжиженный природный газ, представляющий собой преимущественно метан с небольшим содержанием других углеводородов и азота, является эффективным и экологически чистым топливом. Хотя его состав может варьироваться в зависимости от источника природного газа и условий обработки, метан всегда остаётся основным компонентом, что обеспечивает высокую энергоёмкость и эффективность СПГ как топлива. Это делает СПГ привлекательным для различных отраслей промышленности, стремящихся сократить свои углеродные выбросы и повысить общую энергоэффективность производственных процессов.

Один из ключевых аспектов использования СПГ заключается в его физическом состоянии. Природный газ, охлаждённый до жидкого состояния, занимает гораздо меньше объёма, что существенно упрощает его хранение и транспортировку на большие расстояния. Это особенно важно для стран и регионов с недостаточно развитой инфраструктурой для трубопроводного транспорта природного газа. Высокая энергетическая плотность СПГ и его способность выделять значительно меньше углекислого газа при сгорании, по сравнению с традиционными углеводородными топливами, такими как уголь и нефть, предоставляют

значительные преимущества для промышленности. Введение СПГ способствует снижению углеродного следа предприятий и соответствует глобальным тенденциям декарбонизации, направленным на борьбу с изменением климата [3].

Тем не менее, широкомасштабное внедрение СПГ в промышленное использование сопряжено с рядом вызовов, которые требуют тщательного анализа и проработки. Одним из основных препятствий является необходимость создания соответствующей инфраструктуры для хранения, транспортировки и распределения СПГ. Эти задачи требуют значительных капитальных вложений, поскольку строительство специализированных хранилищ, криогенных установок и модернизация транспортных систем требуют значительных финансовых затрат. Кроме того, необходима адаптация существующего промышленного оборудования для работы с новым топливом, что может потребовать значительного времени и ресурсов.

Другой важный аспект — это обучение и подготовка персонала. Работа с СПГ требует специфических знаний и навыков, связанных с его безопасным хранением, транспортировкой и использованием. Это накладывает дополнительные обязательства на предприятия, которые должны инвестировать в обучение своих сотрудников, чтобы избежать аварий и снизить риски, связанные с использованием нового топлива.

Несмотря на эти трудности, СПГ имеет потенциал стать важным элементом энергетической стратегии многих промышленных предприятий. Его применение позволяет не только снизить углеродные выбросы, но и повысить качество продукции, что особенно важно для таких отраслей, как металлургия, химическая и пищевая промышленность. В условиях глобальной технологической гонки использование СПГ может стать ключевым фактором, повышающим конкурентоспособность предприятий и их готовность к новым вызовам [4].

1. Методы и материалы

Что касается энергоэффективности различных видов топлива, СПГ следует сравнить с наиболее используемым сырьем в наше время — нефть и уголь. Для сравнения потребуются данные, представленные ниже:

- СПГ (сжиженный природный газ): около 50–55 МДж/кг.
- Нефть (средняя для различных типов): около 42–46 МДж/кг.
- Уголь (антрацит): около 24–30 МДж/кг.

Энергоэффективность или теплотворная способность топлива из важнейших его характеристик, дающая оценку его применимости в промышленных процессах [5; 6].

Также следует учитывать экологический аспект любого производства, а что касается эксплуатации того или иного типа углеводородного топлива, экологический фактор играет особо важную роль. Оценка экологичности сгорания того или иного топлива принято давать по количеству выбросов углекислого газа. Ниже приведены примерные величины выбросов CO₂ различных видов топлив, в том числе и СПГ:

- СПГ: примерно 2,75 кг CO₂ на кг топлива.
- Нефть: примерно 3,2 кг CO₂ на кг топлива.
- Уголь: примерно 3,6 кг CO₂ на кг топлива.

Чтобы провести сравнение экономической выгоды от применения СПГ для котельной с аналогичными котельными на нефти и угле, нужно учесть несколько факторов:

1. Затраты на топливо: Стоимость СПГ, нефти и угля на единицу тепловой энергии.

$$C_{\text{топливо}} = Q \cdot P_{\text{топливо}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{топливо}}$ — затраты на топливо, руб.; Q — объем потребляемого топлива, кг; $P_{\text{топливо}}$ — цена за единицу топлива, руб./кг.

2. Эффективность сжигания: Различия в теплотворной способности топлива.

3. Эксплуатационные затраты: Затраты на обслуживание, ремонт, модернизацию котельного оборудования, оплату труда и т. д.

$$C_{\text{экспл}} = C_{\text{персонал}} + C_{\text{электричество}} + C_{\text{другое}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{экспл}}$ — эксплуатационные затраты, руб.; $C_{\text{электричество}}$ — расходы на электроэнергию, руб.; $C_{\text{другое}}$ — прочие переменные расходы, руб.

4. Экологические налоги и штрафы: из-за выбросов CO_2 и других вредных веществ.

$$C_{\text{выбросы}} = E_{\text{выбросы}} \cdot P_{\text{штрафы}}, \quad (3)$$

где $C_{\text{выбросы}}$ — затраты на выбросы, руб.; $E_{\text{выбросы}}$ — объем вредных выбросов, м^3 ; $P_{\text{штрафы}}$ — стоимость штрафа за единицу выбросов, руб./ м^3 .

5. Стоимость оборудования и инфраструктуры: Первоначальные инвестиции в строительство и оборудование.

6. Ресурсы на транспортировку и хранение: Учет всех затрат на логистику и хранение топлива.

Экономическая эффективность является величиной равной отношению полезной энергии процесса к общим затратам на его реализацию.

$$\eta_{\text{эконом}} = \frac{E_{\text{полезная}}}{C_{\text{общие}}}, \quad (4)$$

где $\eta_{\text{эконом}}$ — экономическая эффективность, Дж/руб.; $E_{\text{полезная}}$ — полезная энергия, получаемая от топлива, Дж; $C_{\text{общие}}$ — общие затраты, руб.

2. Результаты

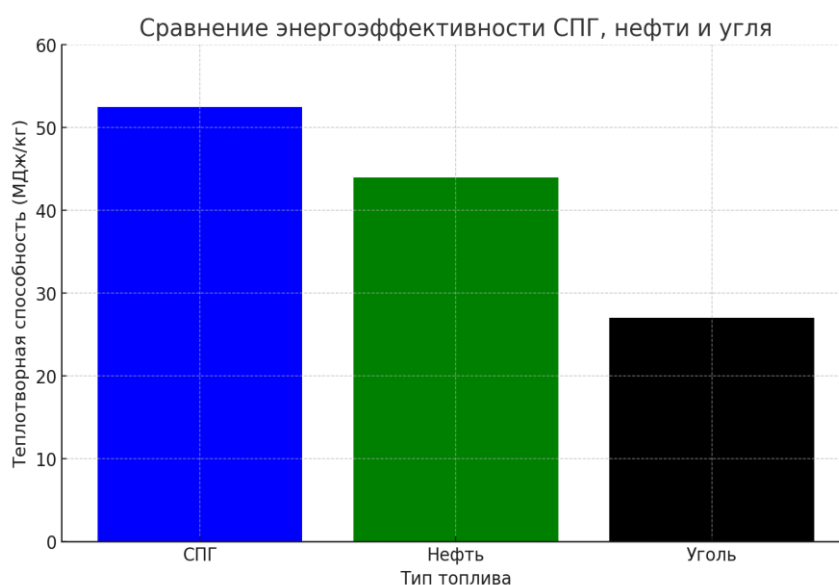


Рисунок 1. График, отображающий теплотворную способность (МДж/кг) для каждого из видов топлива (составлено авторами самостоятельно)

Как видно, СПГ имеет наиболее высокую теплотворную способность, что делает его более эффективным топливом по сравнению с нефтью и особенно углем.

Ниже представлен график, который сравнивает выбросы CO₂ при сгорании СПГ, нефти и угля. Как видно, уголь производит наибольшее количество выбросов CO₂ на килограмм топлива, за ним следует нефть. СПГ, по сравнению с ними, имеет наименьшие выбросы CO₂, что делает его более экологически чистым вариантом среди этих трёх видов топлива.

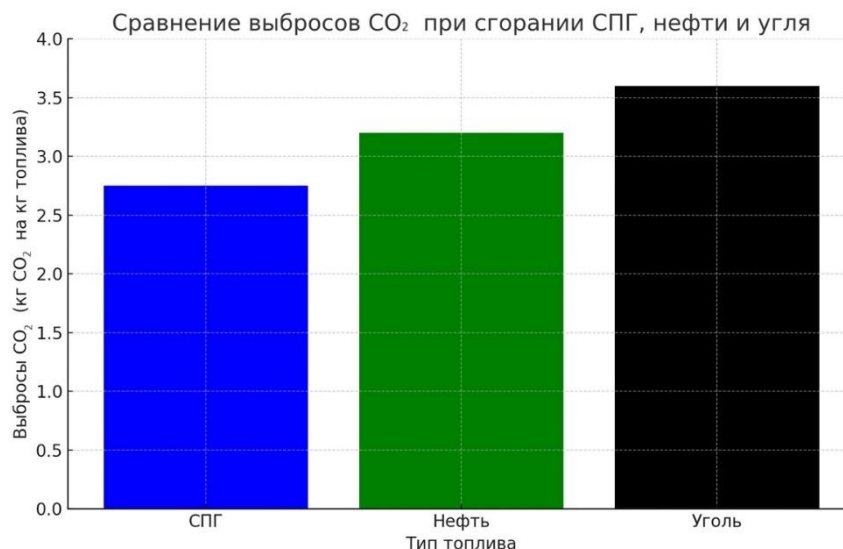


Рисунок 2. График, отображающий количество выбросов в атмосферу (составлено авторами самостоятельно)

Исходя из исходных данных, принятых к расчету, были выявлены зависимости и построены графики, из которых прослеживаются тенденции применения того или иного типа топлива на котельных традиционного исполнения.

Ниже представлен график экономического эффекта котельных на разном топливе. Иначе говоря, экономический эффект показывает количество выработанной энергии на вложенные средства, что является одним из важнейших аспектов любого технологического процесса и показателем эффективности производства.

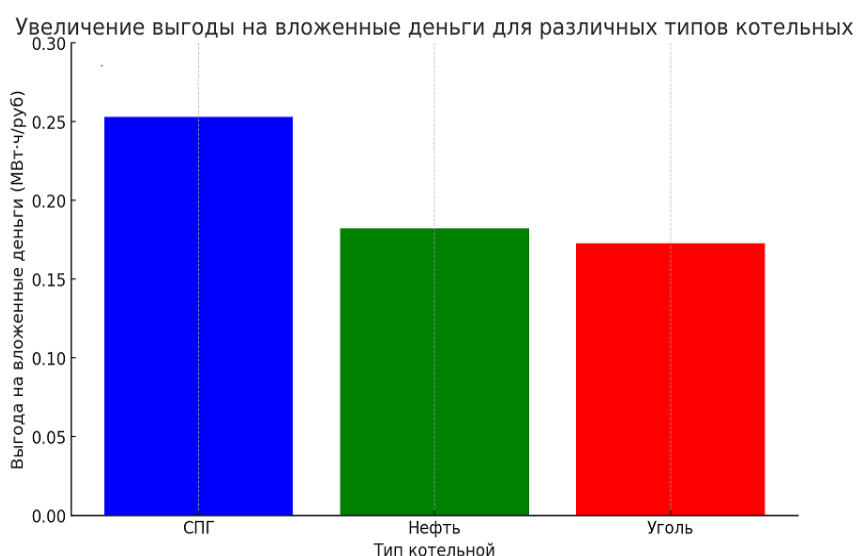


Рисунок 3. График, отображающий количество выработанной энергии на вложенные средства (составлено авторами самостоятельно)

Важной составляющей успеха проекта является срок, за который этот проект принесет прибыль, однако сначала в рамках проекта необходимо окупить все затраты для организации производства. Поэтому также следует определить темпы окупаемости котельных на разных видах топлива. Проще всего это сделать воспользовавшись графиком представленным ниже.

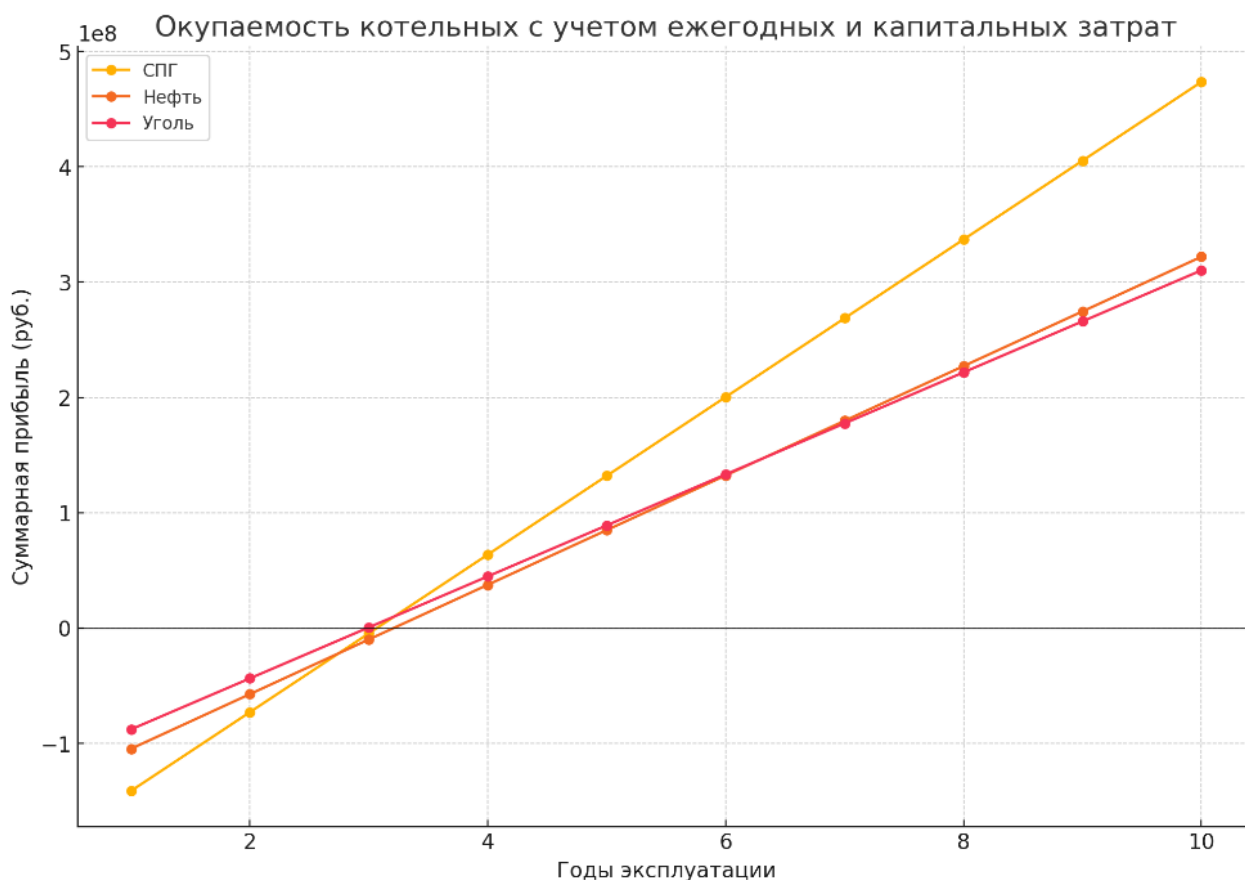


Рисунок 4. График, отображающий окупаемость котельных на различном топливе (составлено авторами самостоятельно)

На данном графике учтены как капитальные затраты необходимые для организации производства, так и эксплуатационные, необходимые для его функционирования.

3. Обсуждение

Проведя анализ информации, представленной в построенных графиках, можно сказать о явном преимуществе СПГ перед другими видами топлива, такими как нефть и уголь.

СПГ обладает заметно большей теплотворной способностью (50–55 МДж/кг) по сравнению с нефтью (42–46 МДж/кг) или углем (24–30 МДж/кг). Также СПГ выигрывает в одном из главных аспектов современного производства — экологичность. Во время промышленных процессов, основанных на использовании и сжигании СПГ, выбрасывается почти в 1,5 раза меньше CO_2 , чем при использовании нефти, и практически в 2 раза меньше, чем при использовании угля [7].

Еще одним несомненным преимуществом использования СПГ является высокие темпы окупаемости и высокая отдача выработанной энергии на единицу вложенных средств. Несмотря на высокие капитальные затраты СПГ опережает своих конкурентов — нефть и уголь, и имеет срок окупаемости меньше. Таким образом, использование СПГ для котельной

может быть более выгодным с точки зрения общей экономической эффективности, особенно если учитывать долгосрочные эксплуатационные затраты и экологические аспекты [8].

Однако эксплуатация оборудования, работающего на сжиженном природном газе (СПГ), сопровождается рядом технических трудностей, которые необходимо учитывать при внедрении этого вида топлива в промышленности. Вот основные из них:

- СПГ хранится при температуре около -162°C , что требует использования специальных криогенных резервуаров и изолированных трубопроводов. Любое нарушение температурного режима может привести к испарению газа и утрате его жидкого состояния.
- При хранении СПГ неизбежно происходит его частичное испарение, что создает паровую фазу, которую необходимо либо сжигать (факел), либо возвращать в жидкую форму, либо использовать для питания оборудования.
- СПГ является высоковоспламеняющимся веществом, и малейшая утечка может привести к серьезным последствиям, включая взрывы. Поэтому требуется тщательный контроль герметичности всех систем.
- Не все промышленное оборудование изначально рассчитано на работу с СПГ, что требует его модернизации или полной замены. Это может включать замену горелок, систем подачи топлива и других компонентов.
- В ряде регионов отсутствует развитая инфраструктура для доставки и использования СПГ, что затрудняет его широкое внедрение в промышленность. Строительство такой инфраструктуры требует значительных инвестиций и времени. Сложность оборудования, работающего на СПГ, требует высококвалифицированного персонала для его обслуживания и ремонта. Недостаток специалистов может затруднить эксплуатацию.

Эти трудности требуют тщательной подготовки и инвестиций при переходе на использование СПГ в промышленности. Однако при правильном подходе и учете всех факторов, СПГ может стать эффективным и экологически чистым источником энергии [9].

Так, например в странах Азиатско-тихоокеанского региона в последние десятилетия активно происходит переход предприятий различного производства на СПГ. Так происходит в основном в регионах с повышенной экологической ответственностью, и в первую очередь касается крупные производственные комплексы, такие как металлургические и цементные заводы. Это касается как стран постиндустриального эшелона, так и индустриального. Например, в менее развитых странах, специализирующихся на производстве и экспорте сельскохозяйственной продукции, на заводах по производству удобрений переход на СПГ позволяет значительно сократить затраты на топливо и частично отказаться от менее экологичного мазута [10].

В Европе СПГ активно используется в химической и пищевой промышленности. Из-за повышенных требований к экологичности производств компании во многих странах предпочитают переход на более чистый вид топлива и отказ от традиционного углеводородного сырья. СПГ все больше используется для отопления и производственных процессов предприятий.

Основой для успешного всеобщего перехода на сжиженные углеводородные газы является развитая инфраструктура как отдельных предприятий и производств, так и в целом стран. Именно поэтому в последние 5–10 лет повсеместно ведется активное развитие объектов транспорта и хранения сжиженных природных газов.

Перспектива СПГ в первую очередь зависит от необходимости многих предприятий перевести производство на «зеленые» рельсы. Также применение СПГ открывает новые возможности для модернизации старых производственных мощностей, что ведёт к повышению энергоэффективности и снижению затрат на эксплуатацию. Это особенно важно для промышленных предприятий, стремящихся оставаться конкурентоспособными в условиях ужесточения технологической гонки компаний по всему миру.

Так одним из масштабных направлений применения СПГ является перевооружение комбинированных ТЭЦ под использование в качестве топлива сжиженного природного газа. Это позволяет предприятиям одновременно генерировать электроэнергию и тепло с минимальными выбросами, что особенно актуально в регионах с жёсткими экологическими требованиями.

В металлургической и цементной промышленности переход на СПГ позволяет не только снизить выбросы, но и улучшить качество продукции за счёт более чистого процесса сгорания. Ожидается, что в ближайшие годы всё больше заводов в этих отраслях будут переходить на СПГ, учитывая экономические и экологические преимущества.

Анализируя результаты исследования, можно сказать, что сжиженный природный газ демонстрирует высокую теплотворную способность, что делает его более эффективным топливом по сравнению с нефтью и углем, а также способствует снижению углеродного следа благодаря меньшему количеству выбросов углекислого газа при сгорании. Это делает СПГ предпочтительным выбором для промышленности, стремящейся сократить воздействие на окружающую среду. Несмотря на высокие капитальные затраты на создание необходимой инфраструктуры и модернизацию оборудования, использование СПГ оказывается экономически выгодным благодаря его энергоэффективности и низким эксплуатационным затратам. В долгосрочной перспективе СПГ обеспечивает более быструю окупаемость проектов по сравнению с нефтью и углем, особенно в условиях роста экологических налогов и штрафов. Однако внедрение СПГ сопряжено с рядом технических сложностей, таких как необходимость создания криогенных систем для хранения и транспортировки газа, а также адаптация существующего оборудования к работе с новым топливом. Эти задачи требуют значительных инвестиций и времени, что может затруднить широкомасштабное внедрение СПГ, особенно в регионах с недостаточно развитой инфраструктурой. Тем не менее, СПГ становится важным элементом в стратегии перехода к более чистым видам топлива, что особенно важно для таких отраслей, как металлургия, химическая и пищевая промышленность. Его внедрение на теплоэлектроцентралях и крупных промышленных предприятиях открывает новые возможности для повышения конкурентоспособности в условиях глобальной технологической гонки. Таким образом, СПГ представляет собой перспективное топливо, сочетающее высокую энергоэффективность, экологичность и экономическую целесообразность, однако его широкомасштабное использование требует значительных инвестиций и технологической адаптации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щендригин А.В., Журавский М.А., Люгай С.В., Евстифеев А.А. Текущее состояние и перспективы использования СПГ в качестве моторного топлива / Газовая промышленность. — 2018. — № 9(774) — С. 98–103 — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35630880> (дата обращения: 20.08.2024).
2. Фёдорова Е.Б. Современное состояние развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии оборудование. — М.: РГУ нефти газа имени

- И.М. Губкина, 2011. — 159 с., ил. ISBN 978-5-91961-045-8 (дата обращения: 20.08.2024).
3. Баранов А.Ю., Соколова Е.В., Иванов Л.В., Иконникова А.Ю. Перспективы развития технологий СПГ в Российской Федерации. // Вестник Международной академии холода. 2023. № 1. С. 23–34. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50413258> — DOI: 10.17586/1606-4313-2023-22-1-23-34. (дата обращения: 20.08.2024).
 4. Григорьева Д.М., Федорова Е.Б. Перспективы снижения углеродного следа при производстве СПГ // Научный журнал российского газового общества. — 2021. — № 3. — С. 64–75. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46614637> (дата обращения: 20.08.2024).
 5. Смирнова О.С., Киселев Т.Ю. Перспективы и критерии реализации интегрированных проектов электрогенерации с использованием СПГ на мировом рынке // Известия СПбГЭУ. — 2020. — № 4(124). — С. 146–150. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-i-kriterii-realizatsii-integrirovannyh-proektov-elektrogeneratsii-s-ispolzovaniem-spg-na-mirovom-rynke> (дата обращения: 20.08.2024).
 6. Jumana Sharanik Michelle Duri Constantinos Hadjistassou Liquefied natural gas // Encyclopedia of Toxicology. — 2024 — Т. 5 — С. 871–892 — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128243152006023> (дата обращения: 20.08.2024).
 7. Joseph B. Powell Natural gas utilization: Current status and opportunities // Catalysis Today. — 2020. — № 356. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920586119305541> (дата обращения: 20.08.2024).
 8. Кондратенко С.Е. Перспективы применения сжиженного природного газа в качестве моторного топлива в России // Газовая промышленность. 2017. № 4(751). С. 76–82. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-szhizhennogo-prirodnogo-gaza-v-kachestve-motornogo-topliva-v-rossii> (дата обращения: 20.08.2024).
 9. Федоров Д.Е., Бьядовский Д.А., Руденко А.Е., Демьянов Алексей Анатольевич Экономическая эффективность использования сжиженного природного газа в качестве источника энергии на объектах инфраструктуры различного значения // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2018. № 1(27) — С. 167–171 — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32501793> (дата обращения: 20.08.2024).
 10. Tianbiao He, Jie Ma, Ning Mao, Meng Qi, Tao Jin Exploring the stability and dynamic responses of dual-stage series ORC using LNG cold energy for sustainable power generation// Institute of Refrigeration and Cryogenics. — 2024. — № 372 — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261924011188> (дата обращения: 20.08.2024).

Avtomonov Evgeny Gennadyevich

Far Eastern Federal University, v. Ajax, Russia
E-mail: avtomonov.eg@dvfu.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1031730

Maximov Egor Andreyevich

Far Eastern Federal University, v. Ajax, Russia
E-mail: maksimov.ean@dvfu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-7896-8243>

Gulevich Alexander Igorevich

Far Eastern Federal University, v. Ajax, Russia
E-mail: gulevich.ai@dvfu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1400-4688>

Zagorskaya Sofya Evgenievna

Far Eastern Federal University, v. Ajax, Russia
E-mail: zagorskaia.se@dvfu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-6980-1697>

Kuzmin Daniil Dmitrievich

Far Eastern Federal University, v. Ajax, Russia
E-mail: kuzmin.ddm@dvfu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7665-4121>

Dobronravov Alexander Sergeyeovich

Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia
E-mail: aleksandrdobronravov584@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4890-6314>

Prospects use of LNG as a fuel for industrial equipment

Abstract. In recent decades, liquefied natural gas has become an important element of the global energy system. Countries and companies seeking to diversify energy sources and reduce dependence on traditional pipeline supplies are increasingly turning to liquefied natural gas as an alternative. The use of liquefied hydrocarbon fuel as a fuel for industrial equipment opens up a number of significant opportunities for enterprises, and due to its undeniable advantages over other types of hydrocarbon fuel, it can also solve a number of important issues facing production — environmental friendliness and cost-effectiveness of production. The article considers the prospects for using liquefied natural gas as a fuel for industrial equipment. Due to global trends towards switching to more environmentally friendly energy sources and the desire to reduce the carbon footprint, this type of hydrocarbon fuel is becoming an increasingly popular fuel in industry. The paper analyzes the key advantages of using liquefied natural gas, such as its high energy efficiency, lower emissions of harmful substances compared to traditional hydrocarbon fuels and cost-effectiveness. Potential difficulties associated with transportation, storage and operation in industrial conditions are also discussed. Particular attention is paid to the analysis of successful examples of technology implementation in industrial enterprises and the assessment of its impact on sustainable development. Conclusions are made about the significant potential of liquefied natural gas as a fuel for industrial equipment, emphasizing the need for further research and development in this area to overcome existing technical and economic barriers.

Keywords: liquefied natural gas; industrial equipment; fuel; environmentally friendly production; economic efficiency of production; hydrocarbon fuel; calorific value of hydrocarbon fuel