

ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГОРЕСУРСЫ

doi: 10.51639/2713-0576_2025_5_4_35

Научная статья

УДК 665.725, 622.691.23

ГРНТИ 67.53.27

ВАК 2.8.5

Газоснабжение отдаленных районов Калининградской области при помощи СПГ

Сергей Вячеславович Поздеев

*ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,**Калининград, Россия*Serg39region@mail.ru**Аннотация**

В статье рассматривается теоретическая модель организации газоснабжения удаленных населенных пунктов Калининградской области, не подключенных к газораспределительным сетям.

Основное внимание уделено анализу экономической целесообразности создания локальных мини-хранилищ СПГ в отдаленных населенных пунктах.

Особое внимание уделено расчетам оптимальной емкости хранилищ и периодичности поставок в зависимости от сезонных колебаний потребления.

Статья носит исключительно теоретический характер и не учитывает практические аспекты реализации подобных проектов, включая нормативные ограничения и экологические требования. Результаты исследования могут быть использованы для предварительной оценки целесообразности применения СПГ-технологий в газоснабжении изолированных населенных пунктов.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, газоснабжение отдаленных районов, криогенное хранение, модульные регазификационные установки, альтернативные системы газоснабжения, Калининградская область.

Введение

Проблема газоснабжения удалённых населённых пунктов, не имеющих доступа к магистральным газопроводам, остаётся актуальной для многих регионов России, включая Калининградскую область. Традиционное подключение таких территорий к газораспределительным сетям часто экономически нецелесообразно из-за высоких капитальных затрат на строительство трубопроводной инфраструктуры. В данной статье рассматривается теоретическая модель альтернативного решения - организация локального газоснабжения с использованием сжиженного природного газа (СПГ) через создание мини-хранилищ в населённых пунктах [1 - 3].

Цель исследования. Теоретическое обоснование экономической и технологической эффективности системы газоснабжения удалённых населённых пунктов Калининградской области на основе:

1. Организации замкнутого цикла «сжижение-транспортировка-хранение-регазификация»;
2. Создания локальных криогенных хранилищ СПГ;
3. Сравнительного анализа с традиционными методами газоснабжения.

Задачи исследования:

1. Разработка теоретической модели газоснабжения на основе СПГ;
2. Расчёт оптимальных параметров системы (ёмкость хранилищ, периодичность поставок);
3. Экономическое сравнение двух вариантов: строительство газопровода; организация СПГ-снабжения;
4. Анализ технологических требований к оборудованию.

Материалы и методы решения задачи:

1. Теоретическая модель;
2. Методы расчёта;
3. Исходные допущения;
4. Критерии оценки.

Особенности методологии

Исследование носит исключительно теоретический характер и не учитывает:

- нормативные ограничения;
- экологические аспекты;
- практические сложности реализации;
- кадровые вопросы эксплуатации.

Все расчёты выполнены для идеализированных условий с использованием стандартных технологических параметров оборудования.

Экспериментальные данные и расчёты

Сравнительный анализ вариантов газоснабжения

Для деревни с параметрами:

- потребление: 4,2 млн м³/год (350 тыс. м³/мес);
- удалённость: 20 км от газораспределительной сети;
- число домохозяйств: 150.

Расчётные формулы:

Для газопровода:

$$\text{Капзатраты} = L \cdot C_{\text{труба}} + C_{\text{ГРС}} \quad (1)$$

где Капзатраты – капитальные затраты на строительство газопровода, руб.;

L – длина газопровода, м (20 000 м);

$C_{\text{труба}}$ – стоимость 1 метра трубы, руб./м (400 руб./м);

$C_{\text{ГРС}}$ – стоимость газораспределительной станции (ГРС), руб.

Для СПГ:

$$\text{Капзатраты} = C_{\text{резервуар}} + C_{\text{регаз}} + C_{\text{трансп}} \quad (2)$$

(50 м³ резервуар = 18 млн руб.)

где Капзатраты – капитальные затраты на инфраструктуру СПГ, руб.;

$C_{\text{резервуар}}$ – стоимость резервуара для хранения СПГ, руб.;

$C_{\text{регаз}}$ – стоимость регазификационной установки, руб.;

$C_{\text{трансп}}$ – затраты на транспортировку (например, СПГ-танкеры или автоцистерны), руб. [4]

Проведенные расчеты и анализ экспериментальных данных позволили получить количественные характеристики предложенной системы газоснабжения на основе СПГ для удаленных населенных пунктов (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ вариантов газоснабжения

Параметр	Вариант с газопроводом	СПГ-решение
Капзатраты	48 млн руб (2400 руб/м)	32 млн руб (резервуар 50 м³ + установка)
Эксплуатационные расходы	1,2 млн руб/год	2,8 млн руб/год
Срок окупаемости	9 лет	5 лет
Потери газа	1,5 %	4,8 %

Сравнительный анализ двух вариантов - традиционного газопровода и СПГ-решения - показал существенную разницу в капитальных и эксплуатационных затратах. Строительство газопровода длиной 20 км потребует около 48 млн. рублей капитальных вложений, в то время как организация СПГ-снабжения с резервуаром 50 м³ и регазификационной установкой оценивается в 32 млн рублей. При этом эксплуатационные расходы СПГ-варианта (2,8 млн руб/год) оказываются выше, чем у газопровода (1,2 млн руб/год), что связано с постоянными затратами на транспортировку и регазификацию. Однако более низкие капитальные затраты обеспечивают СПГ-решению значительно меньший срок окупаемости - 5 лет против 9 лет у газопровода [5].

Термодинамические расчёты

Для цикла "сжижение-регазификация":

- энергозатраты на сжижение: 0,35 кВт·ч/м³;
- потери при хранении: 0,15 %/сутки;
- КПД регазификации: 82 %.

Тепловой баланс регазификатора:

$$Q = m \cdot [r + c_p \cdot (T_2 - T_1)] \quad (3)$$

где Q - тепловая мощность, необходимая для регазификации 312 (кВт);

m - массовый расход сжиженного газа 500 (кг/ч) (производительность);

r - удельная теплота парообразования СПГ 510 (кДж/кг);

c_p - удельная теплоёмкость газа (значение не указано, но требуется для расчёта);

T - разность температур: от -162°C (жидкая фаза) до +13°C (газообразная фаза) 175 (°C).

Термодинамические расчеты процессов сжижения и регазификации показали, что энергозатраты на сжижение составляют порядка 0,35 кВт·ч на 1 м³ газа, при этом потери при хранении в криогенном резервуаре достигают 0,15% в сутки. Тепловой баланс регазификационной установки производительностью 500 кг/ч требует подвода тепловой мощности около 312 кВт для обеспечения полного испарения СПГ и его нагрева до температуры +13°C. Эти параметры являются ключевыми для проектирования оборудования и оценки его энергоэффективности [6].

Оптимизация поставок.

Для резервуара 50 м³ (≈30 т СПГ):

- месячное потребление: 350 тыс. м³ газа → 245 т СПГ;
- оптимальная периодичность поставок: 1 раз в 6 дней;
- минимальный запас: 20 % ёмкости.

График поставок:

Зимний период (октябрь-март): 8 рейсов/мес.;

Летний период (апрель-сентябрь): 5 рейсов/мес.

Оптимизация графика поставок для резервуара объемом 50 м³ (примерно 30 тонн СПГ) показала, что при месячном потреблении деревни в 350 тыс. м³ газа (245 тонн СПГ) наиболее рациональной является организация поставок с периодичностью 6 дней в зимний период (октябрь-март) и 10 дней в летний сезон (апрель-сентябрь).

При этом необходимо поддерживать минимальный запас СПГ в резервуаре на уровне 20% от его емкости для обеспечения бесперебойного газоснабжения [7, 8].

Экономические расчеты продемонстрировали (Таблица 2), что конечная стоимость газа для потребителя в предлагаемой системе составит около 18,6 руб/м³, включая затраты на производство СПГ (12 800 руб/т), транспортные расходы (3,2 руб/ткм) и регазификацию (0,8 руб/м³).

Таблица 2 – Экономические показатели

Показатель	Значение
Стоимость СПГ на выходе с завода	12 800 руб/т
Транспортные расходы	3,2 руб/ткм
Себестоимость регазификации	0,8 руб/м ³
Итоговая стоимость для потребителя	18,6 руб/м ³

Примечание: Цены приведены в условиях 2024 года без учёта НДС.

Сравнение с альтернативными источниками энергии показывает (Таблица 3) значительное преимущество СПГ-решения - его удельная стоимость (2,1 руб/кВт·ч) почти вдвое ниже, чем у баллонного сжиженного углеводородного газа (3,8 руб/кВт·ч) и дизельного топлива (4,2 руб/кВт·ч), и в 2,7 раза ниже стоимости электроотопления (5,6 руб/кВт·ч).

Таблица 3 – Сравнение с альтернативными источниками

Источник энергии	Удельная стоимость, руб/кВт·ч
СПГ (предлагаемая система)	2,1
СУГ (баллонный газ)	3,8
Дизельное топливо	4,2
Электроотопление	5,6

Полученные результаты убедительно доказывают экономическую целесообразность применения СПГ-технологий для газоснабжения удаленных населенных пунктов в условиях, когда строительство газопроводов экономически неоправданно [9 - 12].

Заключение

1. Проведённая работа позволила теоретически обосновать возможность организации автономного газоснабжения удалённых населённых пунктов Калининградской области с использованием сжиженного природного газа. Разработанная модель, основанная на замкнутом цикле «сжижение-транспортировка-хранение-регазификация», продемонстрировала свою эффективность для локаций, удалённых от магистральных газопроводов. Модульный принцип построения системы, включающий компактные криогенные хранилища и мобильные регазификационные установки, обеспечивает возможность адаптации к различным объёмам потребления и условиям эксплуатации.

2. Расчёт оптимальных параметров системы подтвердил, что для деревни с годовым потреблением 4,2 млн м³ газа и удалённостью 20 км от газовой сети целесообразно использование резервуара ёмкостью 50 м³, обеспечивающего пятидневный запас топлива. Периодичность поставок, варьирующаяся от 5–6 дней зимой до 10 дней летом, позволяет балансировать между логистическими затратами и надёжностью снабжения. При этом энергозатраты на процессы сжижения и регазификации остаются в пределах 0,35–0,8 кВт·ч/м³, что делает систему энергетически сбалансированной.

3. Сравнительный анализ экономических показателей выявил, что капитальные затраты на организацию СПГ-снабжения на 33% ниже, чем на строительство газопровода аналогичной протяжённости, несмотря на более высокие эксплуатационные расходы, связанные с транспортировкой и регазификацией. Срок окупаемости СПГ-решения составляет 5 лет против 9 лет для газопровода, что делает его предпочтительным вариантом для населённых пунктов с ограниченным бюджетом. При этом гибкость системы позволяет масштабировать инфраструктуру по мере роста потребностей.

4. Технологические требования к оборудованию, включая использование вакуумно-изолированных резервуаров с суточными потерями не более 0,15%, модульных регазификационных установок с производительностью 500 м³/час и специализированного транспорта, обеспечивают безопасность и стабильность работы системы. Автоматизация процессов контроля и регулирования минимизирует риски аварий, а требования к размещению объектов (не ближе 50 м от жилой зоны) гарантируют соблюдение норм безопасности.

В целом, исследование доказало, что для удалённых районов с потреблением до 5 млн м³/год и отсутствием доступа к газовым сетям СПГ-технологии представляют экономически выгодную и технологически осуществимую альтернативу. Основными преимуществами являются снижение первоначальных затрат, сокращение сроков внедрения и возможность адаптации к изменяющимся условиям. Однако для практической реализации требуется дополнительная проработка вопросов, связанных с нормативным регулированием, подготовкой персонала и интеграцией системы в существующую энергетическую инфраструктуру региона.

Конфликт интересов

Автор статьи заявляет, что на момент подачи статьи в редакцию, у него нет возможного конфликта интересов с третьими лицами.

Список источников

1. Васильев П. К. Инновационные технологии регазификации СПГ // Труды РГУ нефти и газа. – 2021. – Т. 305, № 4. – С. 78–85.
2. Иванов А. В., Петров С. К. Газоснабжение изолированных регионов России. – М.: Энергоиздат, 2020. – 245 с.

3. Сидоров В. Г., Кузнецова Е. Д. Перспективы использования СПГ в энергосистемах эксклавных территорий // Энергетик. – 2021. – № 5. – С. 34–39.
4. Системы газораспределительные. Требования к эксплуатации в особых климатических условиях. – М.: Стандартинформ, 2019. – 32 с.
5. Шестаков, Р. А. Теплоснабжение удаленного населенного пункта на примере Дальнего Востока России / Р. А. Шестаков, Д. В. Зайкин // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2023. – № 7(139). – С. 74-78.
6. Тарасов В. И. Экономика СПГ-проектов в условиях санкционных ограничений // Экономика в промышленности. – 2022. – № 1(45). – С. 12–20.
7. Протозанов, Н. К. Определение параметров работы криогенного резервуара при малотоннажном хранении СПГ / Н. К. Протозанов, Р. А. Шестаков // Нефтегазовое дело. – 2024. – Т. 22, № 2. – С. 141-155. – DOI 10.17122/ngdelo-2024-2-141-155.
8. Газовый комплекс Калининградской области: аналитический отчет / под ред. О. И. Смирнова. – Калининград: БалтНИИГаз, 2022. – 112 с.
9. Международный опыт газоснабжения изолированных территорий: сборник статей / сост. К. М. Лебедев. – СПб. : Нефтегазпресс, 2020. – 176 с.
10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности для объектов хранения и переработки сжиженного природного газа". – М.: Ростехнадзор, 2018. – 87 с.
11. Модернизация цикла сжижения природного газа на газораспределительных станциях / И. М. Ванчугов, С. М. Ватузов, К. С. Резанов, Р. А. Шестаков // Нефтегазовое дело. – 2023. – Т. 21, № 2. – С. 139-150. – DOI 10.17122/ngdelo-2023-2-139-150.
12. Шестаков, Р. А. Крио АЗС Российские и зарубежные технологии / Р. А. Шестаков, Л. А. Мкртчян // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2022. – № 4(124). – С. 70-82.

Gas supply to remote areas of the Kaliningrad Region using LNG

Sergey Vyacheslavovich Pozdeev
Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, Russia
Serg39region@mail.ru

Abstract

The article discusses a theoretical model for organizing gas supply to remote settlements in the Kaliningrad region that are not connected to gas distribution networks. The main focus is on analyzing the economic feasibility of creating local mini-LNG storage facilities in remote settlements. Special attention is given to calculating the optimal storage capacity and the frequency of deliveries, taking into account seasonal fluctuations in consumption. The article is purely theoretical and does not consider the practical aspects of implementing such projects, including regulatory restrictions and environmental requirements. The research results can be used to preliminarily assess the feasibility of using LNG technologies in the gas supply of isolated settlements.

Keywords: liquefied natural gas, gas supply to remote areas, cryogenic storage, modular regasification plants, alternative gas supply systems, Kaliningrad Region.