

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕГАЗИФИКАЦИИ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

Лисин А.В.<sup>1</sup>

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Логвиненко Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Университет ИТМО

### Введение

В условиях децентрализации энергоснабжения и ужесточения экологических норм сжиженный природный газ (СПГ) рассматривается как одно из наиболее перспективных моторных и котельно-печных топлив для удаленных и автономных объектов. Его основным преимуществом является высокая теплопоглощающая способность, позволяющая применять его в широком спектре направлений промышленности и энергетики, что подтверждает актуальность и важность исследований в области повышения эффективности использования его теплопоглощающей способности [1].

Технологический цикл использования СПГ включает обязательную стадию регазификации — фазового перехода из криогенной жидкости (температура кипения порядка 111 К при атмосферном давлении) в газообразное состояние с температурой, пригодной для сжигания в энергетических установках.

Традиционные схемы регазификации, основанные на использовании теплоты атмосферного воздуха или иных подогревателей, характеризуются значительными необратимыми потерями эксергии и высокими удельными энергозатратами. При этом теплопоглощающая способность СПГ рассеивается в окружающей среде без полезного использования. Расчеты показывают, что при регазификации 1 тонны СПГ теоретически доступно около 250 кДж/кг эксергии, которую можно преобразовать в полезную работу [2]. Современные тенденции энергосбережения диктуют необходимость интеграции процесса регазификации в общую структуру энергокомплекса с целью получения вторичных энергетических ресурсов. Существующие исследования демонстрируют, что применение циклов Брайтона и Ренкина, а также интеграция дополнительных технологических процессов (таких как воздухоразделение или фракционирование углеводородов) способны существенно снизить потери эксергии [3].

Целью настоящей работы является разработка научно-обоснованной методики многопараметрической оптимизации процесса регазификации СПГ, позволяющей определить рациональные сочетания технологических параметров, обеспечивающих снижение приведенных затрат и максимизацию эксергетического КПД системы.

### Основная часть

Процесс регазификации представляет собой теплообменный процесс с фазовым переходом, эффективность которого определяется совокупностью термодинамических, гидродинамических и конструктивных факторов. Для построения корректной оптимизационной модели необходимо выделить управляемые переменные и обосновать их влияние на целевую функцию.

Предлагаемая методика базируется на построении детерминированной математической модели установки регазификации как элемента энергокомплекса. Алгоритм включает следующие этапы:

1. Формирование исходных данных для моделирования процесса, таких как:

- компонентный состав и термодинамические свойства СПГ;
- номинальная производительность по газу;
- параметры источника теплоты.

## 2. Моделирование процесса регазификации:

- построение профилей температур в теплообменнике с учетом переменности теплофизических свойств и фазовых переходов;
- расчет эксергетических потерь в элементах системы.

3. Постановка оптимизационной задачи: определение параметров оптимизации и выбор целевой функции. Параметры оптимизации – давление и температура природного газа, параметры теплоносителя. Целевая функция – это минимальные приведенные затраты и максимальный эксергетический КПД установки.

4. Численная реализация заключается в решении задачи многокритериальной оптимизации и исследовании влияния вариаций каждого параметра на целевую функцию для выявления доминирующих факторов и областей устойчивости оптимального решения.

## Выводы

Данная методика многопараметрической оптимизации процесса регазификации СПГ, основанная на эксергетическом анализе, обеспечивает возможность научно-обоснованного выбора рациональных режимных и конструктивных параметров регазификационных установок. Применение предложенной методики на этапе проектирования автономных энергокомплексов способствует повышению эффективности использования природного газа. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка алгоритмов автоматического управления, реализующих найденные оптимальные режимы в реальном масштабе времени с учетом стохастического характера нагрузок.

## Литература

1. Логвиненко Е.В., Лисин А.В. Анализ эффективности использования теплопоглощающей способности сжиженного природного газа для обеспечения энергоснабжения удаленных объектов // Вестник Московского энергетического института. 2025. № 3. С. 88-99.
2. Фальман А.Г., Агейский Д.Э. Перспективы регазификации СПГ // Вестник Международной академии холода. 2015. № 2. С. 46-49.
3. Фальман А.Г., Агейский Д.Э. Эксергетический анализ способов регазификации СПГ // Вестник Международной академии холода. 2015. № 3. С. 34-38.