

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ УСТАНОВОК СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Королёв А.А. (ИТМО)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Зайцев А.В.  
(ИТМО)

**Введение.** Энергоэффективность процессов сжижения природного газа (СПГ) остается критическим вызовом для российской газовой промышленности, особенно в контексте малотоннажных производств, которые доминируют над другими источниками энергии в удаленных регионах страны. Основная научная проблема заключается в высокой энергоемкости циклов сжижения, достигающей 0,7–1,0 кВт·ч на 1 кг СПГ, что связано с неоптимальным выбором технологических параметров и ограниченным использованием автоматизированных методов оптимизации. Отечественный опыт проектирования установок СПГ, как правило, базируется на эмпирических подходах, где качество технологических решений напрямую зависит от опыта инженера, что приводит к субъективности и избыточным энергозатратам. Зарубежные практики, такие как технологии SMR (APCI) и Linde Limum, демонстрируют потенциал снижения удельного расхода энергии на 15–20% за счет применения многоступенчатых систем охлаждения, смешанных хладагентов и алгоритмов адаптивной оптимизации [1]. Однако их прямое внедрение в российских условиях осложняется различиями в составе газа, доступном оборудовании и требованиями к масштабируемости.

**Основная часть.** Суть предлагаемого решения заключается в разработке интегрированного подхода к оптимизации технологического процесса сжижения природного газа на основе системного анализа и применения современных алгоритмов оптимизации. В предложенной методологии основное внимание уделяется следующим аспектам:

- **Выбор параметров оптимизации.** Предлагается детальный анализ ключевых технологических параметров установок сжижения (например, давление конденсации хладагента, температурный уровень предохлаждения, массовые расходы компонентов смешанного хладагента) с целью определения их влияния на эффективность процесса. При этом особое внимание уделяется анализу чувствительности параметров, что позволяет выделить приоритетные направления для совершенствования процессов сжижения.
- **Наложение ограничений.** В соответствии с проектными требованиями на всякий цикл сжижения накладываются ограничения, которые могут нести в себе как физический смысл, так и являться результатом опыта безопасной эксплуатации установок.
- **Выбор критериев оптимальности.** Основой оптимизационной модели является целевая функция, которая может включать показатели экономической эффективности (себестоимость производства, удельные энергозатраты) и технические параметры (коэффициент ожигения, производительность цикла, КПД оборудования). Для поиска компромиссного решения используют многокритериальные методы оптимизации, что позволяет учесть одновременно экономические и технологические требования.

Выбор конкретного метода оптимизации или комбинации методов определяется характером задачи, сложностью технологических зависимостей и требуемой точностью. Методы оптимизации можно разделить по области поиска. Существуют локальные и глобальные методы. К локальным чаще всего относят метод Ньютона, основанный на использовании первых и вторых производных целевой функции для быстрого поиска экстремума. Его основным преимуществом является высокая скорость сходимости при наличии хорошего начального приближения и гладкости целевой функции. Однако требуется вычисление производных, что может быть затруднительно для сложных нелинейных систем. К глобальным методам можно отнести генетический алгоритм. Он относится к классу

эволюционных алгоритмов, использующих механизмы отбора, скрещивания и мутации для глобального поиска оптимального решения. Несравненным преимуществом генетического алгоритма является способность исследовать широкий диапазон решений и избегать застревания в локальных экстремумах [2].

**Выводы.** Проведённое исследование подтверждает актуальность оптимизации установок сжижения природного газа, особенно в контексте малотоннажных циклов, широко применяемых в Российской Федерации для организации поставок газомоторного топлива. Практическое использование результатов исследования может быть реализовано через:

- Разработку автоматизированной методики для расчёта и подбора оптимальных параметров работы установок с учётом наложенных ограничений.
- Отработку методики на существующих заводах, требующих технического перевооружения.
- Внедрение полученных результатов в проектно-конструкторскую документацию новых установок, что способствует повышению их экономической и технической эффективности.

Таким образом, исследование демонстрирует перспективность в применении для повышения энергоэффективности и конкурентоспособности СПГ-установок, а также создает предпосылки для разработки новых подходов в области оптимизации технологических процессов в газовой промышленности.

#### **Список использованных источников:**

1. А.М. Архаров, В.Ю. Семенов, Н.И. Лихачева. Исследование эффективных малотоннажных установок сжижения природного газа// Инженерный журнал: наука и инновации. – 2017. – №4. – С. 1-11.
2. Mokhatab, Saeid & Mak, John & Valappil, Jaleel & Wood, David. (2014). Handbook of Liquefied Natural Gas.