

ПАРАМЕТРЫ И МЕТОДИКИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Жила Владислав Витальевич, студент
Михайлова Марина Алексеевна, студент
Ермолаев Егор Алексеевич, студент
Кочнева Яна Викторовна, студент
Сибирский федеральный университет
mikhaylova.marina.alex@mail.ru

***Аннотация:** Трубопроводы традиционно признаны наиболее экономичным и безопасным способом транспортировки природного газа. Однако, поскольку огромное количество газа транспортируется по трубопроводам, требуются огромные инвестиции для строительства и эксплуатации трубопроводных сетей. Нефтегазовый сектор принял оптимизацию трубопроводов из-за ее потенциала для значительного сокращения затрат на трубопроводы. В последние годы газовая промышленность пережила всплеск параметров и методов оптимизации трубопроводов для снижения стоимости трубопровода. Результаты этого исследования направлены на улучшение понимания методологии, методов и преимуществ внедрения оптимизации в трубопроводную отрасль, что позволит получить максимальные эксплуатационные выгоды в период сокращения поставок ископаемого топлива.*

***Ключевые слова:** оптимизация, трубопровод, природный газ, детерминированная оптимизация.*

Газовая промышленность часто полагается на трубопроводный транспорт, поскольку это недорогой и безопасный способ транспортировки газа. Для транспортировки газа используется огромная сеть трубопроводов. По одной из оценок, по трубопроводам транспортируется около 93 процентов мирового

природного газа. Строительство нефте- и газопроводов продолжает приносить прибыль во всем мире, несмотря на то, что экономика в целом находится в состоянии рецессии. Однако адекватная эксплуатация трубопроводов представляет собой серьезную трудность при наличии таких обширных сетей трубопроводов по всему земному шару.

Трубопроводы являются основой транспортировки газа. Однако, поскольку трубопроводы транспортируют огромное количество газа, затраты на проектирование и эксплуатацию также огромны. Предполагается, что оптимизация сыграет важную роль в снижении затрат на проектирование и эксплуатацию газопроводных сетей. Как правило, при оптимизации газопровода цель состоит в том, чтобы максимизировать конкретный экономический показатель, а также выполнить уравнения производительности, которые описывают физическое поведение системы и любые другие ограничения, которые были установлены заранее.

В большинстве случаев эта проблема может быть выражена математически как четко определенная задача, требующая численного решения, за исключением чрезвычайно простых приложений. Несмотря на то, что было опубликовано множество алгоритмов оптимизации общего назначения, их применение к трубопроводному транспорту часто является сложной задачей. Существует множество факторов, способствующих этой проблеме. Во-первых, алгоритмы оптимизации, как правило, испытывают трудности с их включением в проекты трубопроводов из-за множества алгебраических и дифференциальных уравнений, необходимых для моделирования транзита газопровода. Во-вторых, многие проблемы проектирования и эксплуатации трубопроводов включают непрерывную и дискретную оптимизацию параметров. Как следствие, оптимизация становится типичной задачей. В-третьих, часто требуется учитывать неопределенность, связанную с параметрами базовых моделей трубопроводов. В результате одним из наиболее важных аспектов оптимизации трубопроводов является инновация соответствующих стратегий, которые, с одной стороны, используют уникальные характеристики трубопроводного транспорта, а также позволяют эффективно использовать и взаимодействовать с алгоритмами оптимизации общего назначения. Значение подходов невозможно переоценить, поскольку они часто

решают, можно ли приемлемо и реалистично решить тот или иной конкретный вопрос или комплекс проблем. Трубопроводная отрасль сталкивается с широким спектром задач оптимизации на всех уровнях, от проектирования до эксплуатации. В статье рассматриваются наиболее важные и перспективные направления.

Исследования доказали, что оптимизация работы трубопроводов может значительно снизить стоимость трубопроводных сетей. Огромный экономический импульс, который обеспечила оптимизация трубопроводной сети, вдохновил руководителей трубопроводов на улучшение характеристик трубопроводной сети и снижение ее стоимости. Методы оптимизации используются для поиска наиболее эффективных стратегий эксплуатации магистральных газопроводов (Chen et al. 2021).

Несмотря на то, что необходимо регулировать эксплуатационные ограничения и требования клиентов, определение максимального количества природного газа, поставляемого при различных условиях, является хорошо зарекомендовавшей себя задачей. Расход газа считается целевой функцией. Большинство газотранспортных проектов сталкиваются со сложностями на местном уровне. Максимальный расход газа считается целевой функцией трубопроводной сети, которая гарантирует максимальную пропускную способность трубопровода в конечном итоге (Fasihizadeh et al. 2014; Demissie et al. 2017).

Основной мотивацией для оптимизации газовых труб и связанной с ними инфраструктуры является снижение эксплуатационных расходов. При эксплуатации газораспределительной сети важно учитывать множество переменных. Расходы включают в себя затраты на компрессорное топливо или электроэнергию, ремонт и техническое обслуживание оборудования компрессорных станций, а также ежегодные или периодические экологические и разрешительные расходы. Некоторые расходы останутся постоянными в зависимости от обстоятельств бизнеса, в то время как другие будут колебаться. Переменные эксплуатационные расходы, включая затраты на топливо для турбокомпрессоров, являются приоритетом для трубопроводной сети (Ruan et al. 2009) представили оптимизационную модель, используемую для минимизации инвестиционных затрат на трубопроводную сеть. Модель включала факторы, влияющие на инвестиционные затраты, такие как давление

в узлах труб, диаметр, толщина трубопровода и коэффициент компрессора.

Сокращение использования возобновляемых источников энергии стимулировало инновационные решения по сокращению отходов. Другой потенциальной стратегией является преобразование возобновляемых источников энергии в водород и использование газопроводов для транспортировки. В статье (Tabkhi et al. 2008) представлена математическая модель и количественная оценка сетей газопроводов для улучшения общей работы компрессорных станций, использующих закачку водорода. В статье (Han et al. 2012) предлагается новый координационный контроль для интегрированных морских ветряных электростанций и управления водородом.

За последние несколько десятилетий были широко разработаны многочисленные методы оптимизации. Методы оптимизации конвейера подразделяются на классические (детерминированные) и стохастические (эволюционные). Методы динамического программирования, обобщенного градиента и линейного программирования являются классическими методами, которые были популярны в оптимизации конвейера. Методы динамического программирования обладают уникальной характеристикой, заключающейся в том, что они не увязают в поисках глобального оптимума. Со сложными трубопроводными сетками метод общего градиента хорошо работает. Однако, поскольку эти подходы основаны на градиентном поиске, они имеют недостаток, заключающийся в том, что они не решают недифференцируемые и разрывные функции. В определенных ситуациях результирующее решение, полученное с использованием обобщенного приведенного градиента, легко застревает в локальном оптимуме, что делает его неспособным к дальнейшей оптимизации сетки. В то время как методы линейного программирования могут найти глобальный оптимум, они ограничены ситуациями, когда целевая функция приблизительно линейна. Традиционные методы полагаются в основном на исходное значение, выбранное для получения конечного результата.

Кроме того, все традиционные методы сталкиваются с трудностями при столкновении с нелинейной проблемой (смешанное целочисленное нелинейное программирование —

MINLP). В настоящее время исследователи концентрируются на стохастических или эволюционных алгоритмах для решения этих проблем. Преимущество этих алгоритмов заключается в решении крупномасштабных проблем и устранении трудностей MINLP. Стохастические методы связаны с формированием биологических объектов и социальным поведением (Elbeltagi et al. 2005). Вместо градиентной информации для поиска оптимального решения в этих методах используются отдельные образцы. В результате они не зависят от градиента.

Генетический алгоритм (GA) является одним из самых популярных методов оптимизации конвейера. Вычисления GA выполняются с использованием хромосомных представлений, отбора, кроссовера, мутации и функции приспособленности. Генетические алгоритмы являются одним из самых популярных методов оптимизации конвейера. Его вычислительная стоимость может быть показана более четко, чем другие традиционные методы, такие как обобщенный метод градиента. Рассматриваются следующие преимущества использования генетических алгоритмов.

- используются параметры, содержащиеся в струнном шаблоне, для оценки данной функции.
- применяется значения параметров для управления поиском, а не значения отдельных параметров.
- исследуется несколько возможных решений проблемы, а не сосредотачивается на одном варианте.
- преобразуется дизайн в закодированную область генетического пространства.

Большинство методов оптимизации фокусируются на одной точке, в то время как генетический алгоритм связывается с определенной группой точек. По сути, генетические алгоритмы применяют несколько потенциальных ответов, а затем определяют тот, который приводит к наилучшему результату.

Были рассмотрены многочисленные применения генетических алгоритмов для оптимизации трубопроводов. Приложение сначала включало в себя одноцелевую функцию минимизации расхода топлива, которая была в дальнейшем расширена до многоцелевого процесса сокращения топливных компрессоров и максимизации подачи газа, максимизации объема линейного пакета и максимизации подачи газа. Исследователи (Habibvand, Behbahani.

2012) показали, что генетические алгоритмы могут быть успешно использованы для снижения расхода топлива газокompрессорной станции.

Безопасность трубопроводов в последнее время привлекает все больше внимания из-за возможности экономического ущерба в случае обрушения трубопровода. Включение в существующие модели таких целевых показателей надежности трубопроводов, как риск, связанный с разрывом трубы, коррозией или образованием газовых гидратов, позволяет одновременно максимизировать экономические, экологические аспекты и аспекты безопасности эксплуатации трубопровода.

При оптимизации целевых функций необходима корректировка ограничений с учетом условий эксплуатации трубопровода. Поскольку в некоторых ограничениях используются менее подробные версии уравнений, управляющих потоком газа, они не могут изобразить поток трубы. Следовательно, решения не будут полностью удовлетворять гидравлическим и тепловым ограничениям трубопровода. Исходные управляющие уравнения должны быть включены в оптимизационную модель, чтобы оптимизировать работу конвейера, что усложняет модель. Эту проблему можно решить, объединив моделирование трубопровода и оптимизационные модели.

Детерминированные методы служат начальным способом решения стохастических алгоритмов. Препятствием является преодоление проблем путем разработки как эффективных, так и устойчивых методов оптимизации. Способность решать сложные задачи оптимизации с высокой вычислительной эффективностью и решать сложные проблемы с глобальной оптимизацией является двумя наиболее значительными преимуществами методов стохастической оптимизации. GA является единственным среди алгоритмов ACO, PSO, SA и DE, широко используемых в отрасли. Несмотря на то, что проводятся дополнительные исследования трех других алгоритмов, они еще не получили широкого признания (Wu et al. 2018).

Проектирование распределительного трубопровода также является стратегической задачей оптимизации, при этом основополагающим критерием является качество решения. Решение использует алгоритмы, полученные из природных явлений, для

эффективного выполнения задачи. Для решения проблемы операционной оптимизации требуется баланс между своевременностью и точностью решения. Качество решения имеет решающее значение, так как продолжительность приложения часто составляет от нескольких дней до нескольких месяцев, что намного превышает время выполнения алгоритма оптимизации. Проблема пакетного планирования — это задание оптимизации на операционном уровне, основным камнем преткновения которого являются чрезмерные ограничения.

Крайне важно провести анализ чувствительности соответствующих параметров на основе множества возможных сценариев. На основе ожидаемых достижений должны быть выведены общие принципы оптимальных параметров. Затем необходимо определить эффективность каждого метода оптимизации, чтобы обнаружить диапазоны параметров каждого из них, что даст рекомендации по выбору метода оптимизации для конкретного экземпляра.

Необходимо провести дополнительные исследования по улучшению характеристик более сложных циклических трубопроводных систем. Важно изучить технологии интернет-оптимизации. Трубы уже загружены SCADA. Потенциальный подход к полному использованию результатов оптимизации заключается в объединении технологии онлайн-моделирования с технологией оптимизации работы трубопровода. Благодаря наличию технологии онлайн-оптимизации можно выбирать первоначальные решения на основе точных эксплуатационных данных трубопровода, собранных из системы SCADA. Результаты оптимизации могут предоставить ценную информацию для оптимизации конвейера. Кроме того, система принятия решений будет принимать решение о том, следует ли внедрять предлагаемую оптимальную схему работы. Одним из ключевых вопросов, на который необходимо ответить при разработке технологии онлайн-оптимизации, является методология связывания имитационной модели, модели оптимизации и системы SCADA (Wu et al. 2018).

Исследователи предложили новое понятие, известное как энергетическая сеть, охватывающее электрические и газовые сети. Наименование производства электроэнергии и газа в качестве источников также распространяется на всех потребителей энергии,

которые получают энергию из энергетических центров. За счет преобразования между различными источниками энергии (электричеством и природным газом) повышается гибкость энергетической сети, что позволяет в полной мере использовать все доступные источники энергии. Модель оптимизации энергетической сети представляет собой недифференциальную, многомерную и чрезвычайно нелинейную модель оптимального потока энергии. В научной работе (Beigvand et al. 2016) исследователи показали, что алгоритм гравитационного поиска, PSO, GA и DE может быть использован для решения системы оптимизации работы энергетических и газовых сетей.

Обширный перечень оптимизационных трудностей стоит перед газопроводной отраслью. Модель оптимизации газопровода представляет собой модель MINLP с непрерывными, дискретными и целочисленными переменными оптимизации. Современные модели оптимизации концентрируются на расходе топлива, линейных пакетах, затратах на компрессоры и выбросах парниковых газов. Но безопасности трубопроводов уделяется меньше внимания. Внедрение функции цели безопасности трубопровода может оптимизировать эксплуатационные экономические, экологические проблемы и проблемы безопасности.

Наиболее существенным препятствием для эффективного использования запасов природного газа являются ограничения подходов к оптимизации, которые теоретически возможны, но трудно реализовать на практике из-за их различных допущений. Для стимулирования спроса требуются многочисленные сложные технологии, способные рационально реагировать на изменяющиеся условия. Повышение эффективности использования традиционных газопроводов приведет к значительным экономическим выгодам для газовой промышленности, которые превзойдут первоначальные оценки. Ожидается, что дальнейший вклад научного сообщества ускорит эту тенденцию.

Гибридные алгоритмы помогают преодолеть существующие ограничения алгоритмов, сочетая преимущества двух или более стохастических алгоритмов, но приложения для оптимизации работы газопроводов остаются редкими.

Интеграция программного обеспечения для оптимизации, программного обеспечения для моделирования, программного

обеспечения для принятия решений и программного обеспечения SCADA в систему эффективно использует результаты оптимизации. Данные, полученные в результате работы трубопровода, которые используются в качестве основы для оптимизационной модели, могут быть использованы для тонкой настройки управления трубопроводом.

Литература

1. Chen, Q., Wu, C., Zuo, L., Mehrtash, M., Wang, Y., Bu, Y., Cao, Y. (2021). Multi-objective transient peak shaving optimization of a gas pipeline system under demand uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, 147: 12.
2. Fasihizadeh, M., Sefti, M.V., Torbati, H.M. (2014). Improving gas transmission networks operation using simulation algorithms: case study of the national Iranian gas network. *J Nat Gas Sci Eng* 20:319–327.
3. Demissie, A., Zhu, W., Belachew, C.T. (2017). A multi-objective optimization model for gas pipeline operations. *Comput Chem Eng* 100:94–103.
4. Ruan, Y., Liu, Q., Zhou, W., Batty, B., Gao, W., Ren, J., Watanabe, T. (2009). A procedure to design the mainline system in natural gas networks. *Appl Math Model* 33(7):3040–3051.
5. Tabkhi, F., Azzaro-Pantel, C., Pibouleau, L., Domenech, S. (2008). A mathematical framework for modelling and evaluating natural gas pipeline networks under hydrogen injection. *Int J Hydrogen Energy* 33(21):6222–6231.
6. Han, J.H., Ryu, J.H., Lee, I.B. (2012). Modeling the operation of hydrogen supply networks considering facility location. *Int J Hydrog Energy* 37(6):5328–5346.
7. Elbeltagi, E., Hegazy, T., Grierson, D. (2005). Comparison among five evolutionary-based optimization algorithms. *Adv Eng Inf* 19(1):43–53.
8. Habibvand, G., Behbahani, R.M. (2012). Using genetic algorithm for fuel consumption optimization of a natural gas transmission compressor station. *Int J Comput Appl* 43(1):1–6.
9. Wu, X., Li, C., He, Y., Jia, W. (2018). Operation optimization of natural gas transmission pipelines based on stochastic optimization algorithms: a review. *Math Probl Eng* 2018: 18.
10. Beigvand, S.D., Abdi, H., La Scala, M. (2016). Optimal operation of multicarrier energy systems using time-varying acceleration coefficient gravitational search algorithm. *Energy* 114:253–265.