

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Белковский Вадим Андреевич, студент
Максаков Илья Павлович, студент
Сибирский федеральный университет
vadr17@gmail.com

***Аннотация:** Проектирование транспортировки и хранения нефти и газа (OGTS) — от сбора и переработки на месторождениях до магистральных трубопроводов, с использованием цепочек поставок для соединения каждой части. Статья представляет обзор методов и технологических усовершенствований в OGTS, чтобы показать, как эта отрасль стремится достичь целей устойчивого развития. Критический анализ касается повышения гибкости, энергосбережения, сокращения выбросов и изменения энергетической структуры. Исследование показывает необходимость сосредоточиться на дальнейшем повышении энергоэффективности, сокращении потребления энергии/воды/материалов и выбросов, а также обеспечении безопасности такой обширной нефтегазовой сети.*

***Ключевые слова:** нефть, газ, транспорт, хранилище, устойчивость, снижение энергии.*

С предложением «двойных углеродных целей» многие отрасли активизировали темпы внедрения ряда экологических и низкоуглеродных преобразований и мер развития. То же самое происходит и с энергоемкой нефтяной промышленностью, особенно в отношении снижения энергопотребления и улучшения коэффициентов использования ресурсов. Для конкретного сектора транспортировки и хранения нефти и газа (OGTS) принимается множество производственных, локальных и общесистемных мер для анализа ситуации с выбросами углерода в трубопроводах и резервуарах для хранения, для изучения потенциала

энергосбережения и для достижения цели снижения энергопотребления.

Крайне важно проанализировать, как современные технологии способствуют устойчивому проектированию OGTS. Недавний обзор Liao et al. [1] изучил эффективную и низкоуглеродную эксплуатацию нефтепроводов, особенно для мониторинга, контроля и эксплуатации. Они обнаружили, что для создания «умной трубопроводной сети» еще предстоит решить множество задач. Благодаря развитию больших данных, облачных вычислений и блокчейна потребление энергии и выбросы углекислого газа в нефтепроводах могут быть еще больше сокращены. Хотя их обзор в основном был сосредоточен на нефтепроводах, также обсуждались некоторые документы о цепочке поставок.

Еще одно интересное исследование, проведенное Huang et al. [2] провела комплексную оценку жизненного цикла анализа выбросов углекислого газа системы нефтепродуктопроводов от строительства до утилизации (углеродный след трубопроводного транспорта нефтепродуктов). Исследователи пришли к выводу, что соединение сети нефтепроводов и круговая поставка нефтепродуктов могут способствовать значительному сокращению выбросов.

Монтанья и др. [3] предложил математическую модель оптимизации сетей сбора нетрадиционных систем добычи нефти и газа. Для определения местоположения и размеров резервуарных парков для разделения нефти и газа, а также соединений трубопроводов был изучен случай 40 площадок скважин и 50 месяцев. Альмедалла и др. [4] разработали комплексный подход к траектории ствола скважины. Маршруты сети трубопроводов и расположение платформ были запланированы на основе ограниченной оптимизации с помощью линейной аппроксимации и смешанного целочисленного линейного программирования. Метод был успешно использован для планирования на морском нефтяном месторождении в Мексиканском заливе. Чжэн и др. [5] предложили метод увеличения добычи за счет установки компрессоров на трубопроводной сети для поддержания стабильной добычи метана угольных пластов. Они предложили модель смешанного целочисленного нелинейного программирования (MINLP), которая принимает максимизацию ежедневной чистой прибыли в качестве целевой функции и учитывает стоимость оборудования и

электроэнергии. Основными переменными являются места установки компрессора, расход трубопроводов и давление в узлах. Двухэтапный улучшенный генетический алгоритм.

Результаты эксперимента показали, что энергопотребление компрессора можно снизить в максимально возможной степени при условии увеличения производительности. Чжао и др. [6] исследовали нефтяное месторождение и вывели модель падения температуры и давления трехфазного потока нефти, газа и воды. На примере четырех скважин блока месторождения определены параметры работы одиночного скважинного сбора и транспортировки, сбора и транспортировки ответвлений и кольцевого сбора и транспортировки. Результаты сравнительного анализа показали, что наиболее энергосберегающим режимом сбора и передачи данных четырех скважин является режим отводного подключения трубопроводной сети.

В условиях непрерывного освоения месторождения, увеличения обводненности и количества остановленных скважин существующий режим сбора и транспортировки нефти на месторождении уже не может отвечать требованиям энергосбережения. Необходимо принять меры по реконструкции. Ван и др. [7] изучили трансформацию трубопроводной системы на средней и поздней стадиях разработки месторождений с учетом гидромощности, технологии и стоимости трансформации. Модель смешанного целочисленного нелинейного программирования была создана и решена с помощью алгоритма ветвей и границ. Результаты показали, что общая стоимость снижается на 7,13% после реструктуризации трубопровода по предложенному методу.

Метод узлового анализа был применен для интеграции системы закачки, пласта и добычи, а также разработана модель для расчета энергопотребления интегрированной системы. В качестве переменных были заданы скорректированный дебит жидкости, соотношение закачки и добычи, коэффициент разделения и целевой уровень пластового давления. Алгоритм PSO использовался при численном моделировании пласта для оптимизации плана добычи. Система интеграции позволяет сэкономить 8% энергопотребления.

В последнее время развитие технологий очистки добываемой на нефтяных месторождениях воды привлекло большое внимание исследователей, и они были рассмотрены в нескольких

исследованиях. Снижение загрязнения следует учитывать как в период проектирования, так и в период эксплуатации. На период проектирования целью является снижение потенциальных выбросов или загрязнения, а также сохранение баланса между стоимостью строительства. Для некоторых проектов существует компромисс между стоимостью строительства и экологическими затратами. Например, участок можно было бы перенести подальше от жилой застройки, чтобы снизить воздействие на человека, но, соответственно, увеличить затраты на строительство и транспортировку трубопровода.

Ван и др. [8] изучили выбор места сбора газа станции, рассмотрели экономические и экологические факторы, создали модель с целевой функцией минимальной стоимости строительства и воздействия на окружающую среду, использовали связанный алгоритм A-star для поиска оптимального пути и использовали метод Монте-Карло для выборки неопределенных данных о ветре для оценки экологический эффект. Результаты показали, что этот метод позволяет определить оптимальное место газосборной станции.

Магистральный трубопровод является важной частью устойчивого развития OGTS. С расширением масштабов строительства трубопроводов с каждым годом нефть и газ будут потреблять много энергии в процессе транспортировки, что приводит к энергетическим потерям. Для повышения эффективности использования энергии необходимо снизить энергопотребление нефте- и газопроводов. Обычно методы снижения энергопотребления заключаются в оптимизации параметров трубопроводной системы, в том числе диаметра трубопровода и положения насоса на этапе проектирования.

Цепочка поставок является ключевой частью OGTS, а устойчивое развитие может сбалансировать экономические, экологические и социальные выгоды. Обычно в цепочке поставок нефти и газа применяются четыре вида транспорта: трубопроводный, автомобильный, железнодорожный и водный. Обычно используемые меры, такие как снижение транспортных расходов и повышение эффективности оптимизации цепочки поставок нефти и газа, могут способствовать энергосбережению и сокращению выбросов. Внедрение стандартизации и совместного использования ресурсов

также помогает нефтегазовой отрасли создать экологически чистую и устойчивую цепочку поставок.

В современной литературе многие исследования сосредоточены на снижении общих транспортных расходов с целью снижения расхода топлива. Учитывая влияние спроса на нефть и неопределенности цен на планирование цепочки поставок нефти, Лима и др. [9] разработали метод, сочетающий анализ временных рядов, сценарный подход и многоэтапное стохастическое программирование. Результаты показали, что их метод позволяет правильно справиться с неопределенностью, снизить транспортные расходы и максимизировать прибыльность.

Была разработана модель MILP, в которой стоимость транспортировки и стоимость строительства рассматриваются как целевые функции. Результаты показали, что общая стоимость схемы с учетом строительства нового трубопровода является самой низкой по сравнению со схемой без строительства нового трубопровода. Ни и др. [10] изучили эластичность цепочки поставок, рассматривая стратегии запасов в экстремальных погодных условиях. Для оценки эластичности цепочки поставок были использованы методы математического моделирования, приняв в качестве целевой функции стоимость транспортировки. Результаты показали, что увеличение запасов на 2,67% до 14,83% может повысить эластичность цепочки поставок. Соответствующее повышение эластичности цепочки поставок может снизить влияние неопределенных факторов на систему поставок и снизить транспортные расходы.

Поскольку вопросы охраны окружающей среды вызывают большее беспокойство, в некоторых недавних работах рассматривались двойные целевые функции как экономических, так и экологических издержек. Чен и др. [11] разработал модель Р-графика для оптимизации цепочки поставок нефти за счет соотношения затрат на выбросы и анализа производительности. Исследователи также проанализировали влияние реформы трубопроводной сети на энергетическую экономику и окружающую среду и предложили метод сочетание математического планирования с энергетической экономикой и экологической оценкой для создания системы комплексной оценки.

Результаты исследования показали, что по сравнению с вертикальной операционной системой, которая учитывает только затраты, план реформирования трубопровода полностью учитывает экологические преимущества и эффективно повышает общую энергоэффективность. Годовое потребление энергии сократилось на 10,70–19,70%, а эксплуатационные затраты снизились до 3,73–13,47%.

Благодаря быстрому развитию низкоуглеродных и устойчивых мер, реализованных в технике транспортировки и хранения нефти и газа, эта отрасль вступает в новую эру. Наряду с увеличением доли потребления природного газа, ускорением строительства магистральных нефте- и газопроводов, региональных отводов и газораспределительных трубопроводов, совершенствованием терминалов СПГ и обустройством их обеспечивающих экспортных трубопроводов, а также содействием взаимосоединению нефте- и газопроводов, будущее OGTS будет светлым. В этом документе рассматриваются разработки в четырех основных областях OGTS, а именно: нефтяные и газовые месторождения, магистральные трубопроводы, цепочки поставок нефти и газа и технология СПГ, а также исследования изменения энергетической структуры, связанные с инжинирингом OGTS. чтобы показать новейшие исследования и технологии, которые способствуют устойчивому развитию. Результаты показали, что потребление энергии и выбросы CO₂ выбросы сокращаются за счет методов оптимизации, изменения энергетической структуры, а также нового оборудования и сооружений.

Литература

1. Liao, Q.; Liang, Y.; Tu, R.; Huang, L.; Zheng, J.; Wang, G.; Zhang, H. Innovations of Carbon-Neutral Petroleum Pipeline: A Review. *Energy* 2022, 8 p.
2. Huang, L.; Liao, Q.; Yan, J.; Liang, Y.; Zhang, H. Carbon Footprint of Oil Products Pipeline Transportation. *Sci. Total Environ.* 2021, 783 p.
3. Montagna, A.F.; Cafaro, D.C.; Grossmann, I.E.; Burch, D.; Shao, Y.; Wu, X.-H.; Furman, K. Pipeline Network Design for Gathering Unconventional Oil and Gas Production Using Mathematical Optimization. 2021, 315 p.

4. Almedallah, M.K.; Branch, G.; Walsh, S.D.C. Combined Well Path, Submarine Pipeline Network, Route and Flow Rate Optimization for Shallow-Water Offshore Fields. *Appl. Ocean* 2020, 105 p.
5. Zheng, T.; Liang, Y.; Wang, B.; Sun, H.; Zheng, J.; Li, D.; Chen, Y.; Shao, L.; Zhang, H. A Two-Stage Improved Genetic Algorithm Particle Swarm Optimization Algorithm for Optimizing the Pressurization Scheme of Coal Bed Methane Gathering Networks. *J. Clean. Prod.* 2019, 229, pp. 941–955.
6. Zhao, Y.; Yao, L.; Liu, L.; Xu, Y. Optimization of Energy Saving Gathering and Transportation Mode in a Block of Tahe Oilfield. *Case Stud. Therm.* 2019, 13 p.
7. Wang, B.; Liang, Y.; Zheng, J.; Lei, T.; Yuan, M.; Zhang, H. A Methodology to Restructure a Pipeline System for an Oilfield in the Mid to Late Stages of Development. *Comput. Chem.* 2018, pp. 133–140.
8. Wang, B.; Liang, Y.; Zheng, T.; Yuan, M.; Zhang, H. Multi-Objective Site Selection Optimization of the Gas-Gathering Station Using NSGA-II. *Process Saf. Environ. Prot.* 2018, 1 (19), pp. 350–359.
9. Lima, C.; Relvas, S.; Barbosa-Póvoa, A. Stochastic Programming Approach for the Optimal Tactical Planning of the Downstream Oil Supply Chain. *Comput. Chem. Eng.* 2018, 10 (8), pp. 314–336.
10. Ni, W.; Liang, Y.; Li, Z.; Liao, Q.; Cai, S.; Wang, B.; Zhang, H.; Wang, Y. Resilience Assessment of the Downstream Oil Supply Chain Considering the Inventory Strategy in Extreme Weather Events. *Comput. Chem.* 2022, 163 p.
11. Chen, X.; Wang, M.; Wang, B.; Hao, H.; Shi, H.; Wu, Z.; Chen, J.; Gai, L.; Tao, H.; Zhu, B.; et al. Energy Consumption Reduction and Sustainable Development for Oil & Gas Transport and Storage Engineering. *Energies* 2023, 16 p.