

ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РАСХОДА ТОПЛИВНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ланин Сергей Николаевич

аспирант Санкт-Петербургского государственного экономического университета, РФ, г. Санкт-Петербург

Дедов Егор Михайлович

магистрант Санкт-Петербургского государственного экономического университета, РФ, г. Санкт-Петербург

APPROACHES TO FORECASTING FUEL GAS CONSUMPTION FOR ENHANCING THE OPERATIONAL EFFICIENCY OF GAS TRANSPORT ENTERPRISES

Sergey Lanin

Aspirate, St. Petersburg State University of Economics, Russia, St. Petersburg

Egor Dedov

Undergraduate student, St. Petersburg State University of Economics, Russia, St. Petersburg

Аннотация. В статье рассматриваются методы прогнозирования расхода газа на технологические нужды компрессорных станций в газотранспортных компаниях. Описана текущая классификация потребления и потерь газа для технологических нужд, подчёркивается важность управления расходом топливного газа для повышения эффективности транспортировки природного газа и снижения её себестоимости. Основной акцент сделан на методах повышения точности прогнозирования расхода топливного газа.

Abstract. The article examines methods for forecasting gas consumption for the technological needs of compressor stations in gas transport companies. It describes the current classification of gas consumption and losses for technological needs and emphasizes the importance of managing fuel gas consumption to improve the efficiency of natural gas transportation and reduce its cost. The main focus is on methods to enhance the accuracy of fuel gas consumption forecasting.

Ключевые слова: прогнозирование расхода топливного газа, собственных технологические нужды, модели классификации и регрессии, технологические данные, газовая отрасль, точность прогнозирования.

Keywords: forecasting fuel gas consumption, technological needs, classification and regression models, technological data, gas industry, forecasting accuracy.

ВВЕДЕНИЕ.

Природный газ играет важную роль в экономике России, будучи одним из основных источников доходов и обеспечения энергетической безопасности страны. Россия обладает крупнейшими в мире запасами природного газа и является ведущим его экспортером, поставляя газ в Европу, Азию и другие регионы. Экспорт газа приносит значительную часть валютных поступлений и укрепляет внешнеэкономические связи. Высокое внутреннее потребление газа способствует устойчивому развитию промышленности, энергетики и жилищно-коммунального хозяйства. Природный газ является основным источником энергии в России, уменьшая зависимость от угля и нефти и снижая выбросы парниковых газов. Газовая отрасль предоставляет рабочие места миллионам россиян и играет важную роль в поддержании социальной стабильности. Кроме того, отрасль стимулирует развитие новых технологий и инноваций в добыче, транспортировке и переработке газа, способствуя общему технологическому прогрессу.

ПАО "Газпром" является ключевым игроком в обеспечении природным газом потребителей Российской Федерации, будучи крупнейшим производителем и поставщиком газа в стране и мире [1]. Компания контролирует весь производственно-технологический процесс, от добычи до транспортировки и распределения газа, что обеспечивает стабильность и надежность поставок. ПАО "Газпром" отвечает за значительную часть добычи природного газа в России, применяя современные технологии и инновационные методы разработки месторождений. Компания управляет обширной сетью магистральных газопроводов, охватывающих все регионы России, обеспечивая эффективное и безопасное транспортирование газа. ПАО "Газпром" активно инвестирует в строительство и модернизацию газовой инфраструктуры, включая новые газопроводы, компрессорные станции и системы хранения газа. Кроме того, компания участвует в различных социальных проектах, направленных на улучшение условий жизни в регионах присутствия, развитие социальной инфраструктуры и поддержание экологической безопасности. ПАО "Газпром" играет стратегическую роль в обеспечении энергетической безопасности России и устойчивого снабжения потребителей природным газом, способствуя экономическому развитию и социальной стабильности в стране.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПАО «ГАЗПРОМ»

Снижение экспорта газа в Европу после запрета транспортировки через Польшу стало значительным вызовом для компании. Запрет на использование польского участка газопровода "Ямал-Европа" [13] вынудил перераспределять газовые потоки и искать альтернативные маршруты доставки. Прекращение экспорта газа через Балтийское море после терактов на Северных потоках [2] стало следующим серьезным ударом для ПАО "Газпром". Из-за повреждений, вызванных этими инцидентами, транспортировка газа по Северным потокам была остановлена, что привело к уменьшению объемов поставок газа в европейские страны. Невозможность транспортировки газа через Украину через ГИС "Сохрановка" после начала специальной военной операции и одностороннего отказа НАК «Нафтогаз Украины» принимать газ по этому направлению [3] значительно усложнила экспортные операции ПАО "Газпром". Этот маршрут традиционно использовался для поставок газа в Европу, обеспечивая значительные объемы транзита. Прекращение использования этой точки соединения ГТС Российской Федерации с ГТС Украины вынудило перераспределять потоки газа и искать альтернативные маршруты. Ситуация осложнилась в условиях геополитической нестабильности, что вызвало дополнительные трудности в обеспечении надежности поставок и выполнении контрактных обязательств перед европейскими потребителями. Кроме того, контракт на транспортировку газа через территорию Украины заканчивается в 2025 году, и перспективы его продления остаются неясными и неопределенными. Это создает дополнительную неопределенность в обеспечении стабильных поставок газа в Европу через этот маршрут. В условиях геополитической нестабильности и напряженных отношений между Россией и Украиной будущее этого контракта остается под большим вопросом.

С учетом вышеизложенного, развитие внутреннего рынка газа является одной из приоритетных задач для ПАО «Газпром». Основные пути увеличения реализации газа на внутреннем рынке следующие:

1. Ускорение и расширение газификации населенных пунктов. Это включает строительство новых газопроводов и подключение к ним домохозяйств, предприятий и коммунальных объектов. Улучшение инфраструктуры позволит большему числу потребителей получить доступ к природному газу, что увеличит внутренний спрос. Например, строительство магистрального газопровода «Сила Сибири-2» предусматривает создание инфраструктуры для газификации Республики Бурятия, Забайкальского края, Красноярского края и Иркутской области, что позволит сократить логистические затраты при поставках газа в Китай, а также использовать ресурсную базу независимых производителей газа для газификации регионов России.

Работа по газификации объектов в Российской Федерации проводится на основе поручений Президента Российской Федерации:

- «Обеспечить до 2023 года в газифицированных населенных пунктах без привлечения средств населения подводку газа до границ негазифицированных домовладений» [12].
- «Продлить, определив параметры, и обеспечить реализацию программы социальной газификации, предусматривающей в газифицированных населенных пунктах технологическое присоединение газоиспользующего оборудования граждан, медицинских и образовательных организаций к газораспределительным сетям (при наличии потребности в таком присоединении) без привлечения их средств» [14].
- «Правительству Российской Федерации совместно с исполнительными органами субъектов Российской Федерации, публичным акционерным обществом «Газпром» и при участии иных газоснабжающих организаций обеспечить без привлечения средств граждан выполнение мероприятий по подключению к газораспределительным сетям домовладений, расположенных на землях садоводческих некоммерческих товариществ в газифицированных населенных пунктах, предусмотрев выполнение этих мероприятий до границ земельных участков, принадлежащих заявителям (при наличии соответствующей заявки о подключении), и определив критерии и условия такого подключения (технологического присоединения)» [15].

На 1 января 2024 года уровень газификации в Российской Федерации составил 73,8%. К 2030 году уровень газификации регионов Российской Федерации достигнет 82,9%, что является максимальным возможным уровнем сетевой газификации страны с технической точки зрения. Дальнейшее повышение уровня газификации потребителей России трубопроводным газом экономически нецелесообразно или технически невозможно.

2. Развитие СПГ технологий. Следующим шагом для увеличения использования природного газа на внутреннем рынке является развитие технологий сжиженного природного газа (СПГ). Развитие производства СПГ позволит обеспечить снабжение удаленных и труднодоступных регионов, где прокладка трубопроводов экономически нецелесообразна. СПГ терминалы и заводы могут существенно расширить географию поставок внутри страны и увеличить объемы реализации газа.

3. Создание новых газоперерабатывающих мощностей. Еще одним способом увеличения использования природного газа на внутреннем рынке является создание новых газоперерабатывающих мощностей. Это позволит более эффективно использовать природный газ, производя из него разнообразные продукты с высокой добавленной стоимостью, такие как пластики, химикаты и другие материалы. Такой подход не только увеличит внутреннее потребление газа, но и создаст дополнительные рабочие места, повысив экономическую эффективность газовой отрасли.

Реализация СПГ проектов может столкнуться с рядом проблем. Во-первых, СПГ проекты требуют значительных капитальных затрат на строительство заводов по сжижению природного газа и инфраструктуры, что в текущей геополитической обстановке и при высоких ставках по кредитам становится серьезным препятствием. Во-вторых, могут возникнуть сложности с получением разрешений и согласований от регуляторных органов.

Кроме того, усиление санкционного давления может повлиять на показатели производства СПГ и создать риски реализации перспективных проектов, что может привести к переносу сроков их реализации на более поздний период. Нефтегазовые компании, реализующие СПГ-

проекты, проводят анализ вышеуказанных рисков и степени их влияния на деятельность СПГ-проектов.

Наконец, волатильность мировых цен на газ и конкуренция на глобальном рынке СПГ могут оказывать влияние на экономическую целесообразность и прибыльность проектов. Подобные проблемы существуют и при реализации проектов по строительству газоперерабатывающих мощностей.

СТРУКТУРА СЕБЕСТОИМОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Для повышения доходности основных видов деятельности, помимо увеличения эффективности реализации газа, ПАО "Газпром" необходимо проводить оптимизационные мероприятия по управлению и снижению затрат. Это включает модернизацию инфраструктуры, внедрение передовых технологий, повышение энергоэффективности и автоматизацию процессов. Важно также анализировать и оптимизировать логистические цепочки, снижать операционные расходы и улучшать управление ресурсами.

Одним из путей повышения эффективности деятельности в части оптимизации затрат является повышение эффективности работы с себестоимостью транспортировки газа. Себестоимость транспортировки газа включает несколько ключевых компонентов, каждый из которых влияет на общие затраты. В себестоимость включены эксплуатационные расходы на обслуживание и ремонт газотранспортной инфраструктуры, амортизационные отчисления на основные средства, административные расходы на управление и координацию деятельности, транспортные расходы на логистику и перемещение персонала и оборудования, а также налоги и сборы, связанные с эксплуатацией системы.

Одна из основных частей себестоимости связана с затратами природного газа на собственные технологические нужды (СТН). Газ на СТН используется для работы газоперекачивающих аппаратов компрессорных станций, обеспечивающих движение газа по трубопроводам. По данным бухгалтерской отчетности ПАО «Газпром», расходы газа на СТН в 2022 году составили около 12% всех суммарных расходов на транспортировку природного газа по магистральным газопроводам.

Полная себестоимость транспортировки газа формируется следующими основными статьями затрат: арендные платежи за пользование основными средствами и их капитальный ремонт, оплата природного газа на СТН, фонд оплаты труда, материалы, отчисления в государственные фонды и т.д. Первые три вида затрат являются наиболее значительными. При этом, если арендные платежи и фонд оплаты труда определяются договорными отношениями и слабо подвержены изменениям, предлагаемым одной из сторон, то затраты на приобретение природного газа на СТН находятся в ведении самого газотранспортного предприятия и могут быть оптимизированы.

На рисунке представлена структура расхода газа на СТН.



Рисунок 1. Структура расхода газа на СТН

В период с 2020 по 2023 годы доля расходов на приобретение газа на СТН в одном из газотранспортных обществ колебалась от 12,9% (в 2023 году) до 23,5% (в 2021 году) от суммарной выручки от основного вида деятельности газотранспортного общества.

На диаграмме ниже представлена информация о доле топливного газа в СТН. В 2023 году доля газа на СТН на компрессорных станциях (КС) составила 76% от всех расходов газа на СТН.

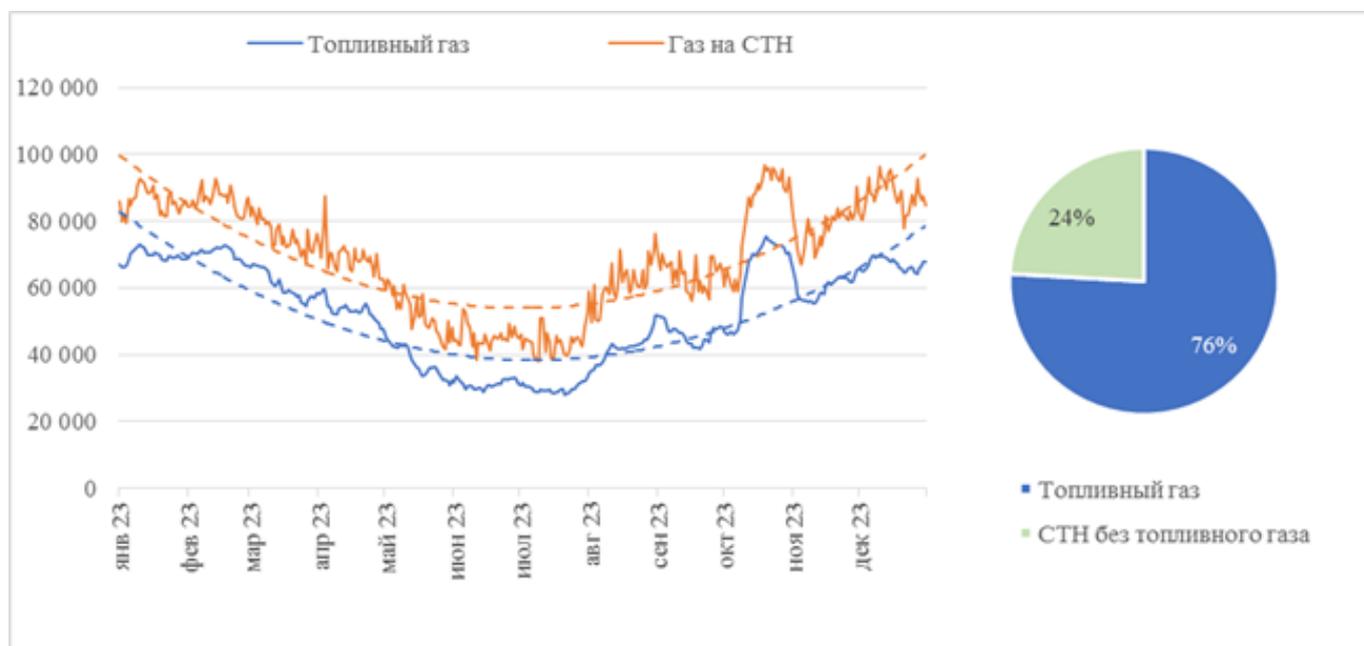


Рисунок 2. Объем и доля топливного газа на СТН

Эти данные подчеркивают значимость контроля и оптимизации затрат на топливный газ, который является существенной статьёй расходов в структуре себестоимости транспортировки природного газа.

ВАЖНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВНОГО ГАЗА В СТРУКТУРЕ СЕБЕСТОИМОСТИ

Точность прогнозирования расхода топливного газа в составе СТН имеет критическое значение для эффективного управления газотранспортными системами. Она позволяет оптимизировать эксплуатационные процессы, минимизируя издержки и повышая общую экономическую эффективность. Точные прогнозы помогают правильно распределять ресурсы, планировать техническое обслуживание и своевременно выявлять потенциальные проблемы, что позволяет оптимизировать эксплуатационные расходы, снижая потребность в избыточных резервах топлива и сокращая затраты на закупку газа. Кроме того, это способствует снижению рисков перебоев в поставках газа и обеспечению стабильного снабжения потребителей. В условиях растущих требований к энергоэффективности и экономичности точное прогнозирование является ключевым элементом в стратегии управления затратами и ресурсами.

Диспетчерское управление в системе ПАО «Газпром» имеет многоуровневую иерархическую структуру. Центральный производственно-диспетчерский департамент (ЦПДД) контролирует потоки газа на уровне всей ГТС ЕСГ, обеспечивая регулярные поставки газа потребителям на внутреннем рынке, транспортировку на экспорт в ближнее и дальнее зарубежье, управление при ремонтных работах, в условиях пикового спроса и изменении маршрутов поставок. Управление потоками передается на уровень газотранспортных обществ и далее на линейные управления и КС, где задаются режимы работы оборудования. Каждый уровень управления направлен на эффективное и надежное функционирование ГТС ЕСГ. При оптимизации энергозатрат в целом по ГТС необходимо использовать единые подходы к расчетам распределения потоков, учитывая топливный газ и электроэнергию на компримирование. Неэффективное распределение потоков нельзя скорректировать на уровне дочерних обществ, поэтому на верхнем уровне управления должны использоваться алгоритмы оптимизации потоков по всей системе на основе энергетических критериев. Для таких алгоритмов оптимизации очень важное значение имеет механизм расчета расхода топливного газа в зависимости от конфигурации потоков по ГТС в целом.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ РАСХОДОВ

ТОПЛИВНОГО ГАЗА

В настоящее время в ПАО «Газпром» используются методические подходы, позволяющие рассчитать расход топливного газа в зависимости от режима работы ГТС на уровне газотранспортного общества. Эти подходы основываются на детальном гидравлическом моделировании режимов работы ГТС при оптимальных режимах работы газоперекачивающего оборудования. Однако такой детальный подход не применим на верхнем уровне управления потоками, так как он труднореализуем для задач размерности ГТС ЕСГ, и ЦПДД не оперирует режимами работы отдельных газоперекачивающих агрегатов и не может их прогнозировать.

Для решения задачи расчета затрат топливного газа на потоковом уровне требуется построить обобщенные зависимости энергозатрат на компримирование газа от объемов транспортировки по участкам ГТС, в которых не присутствовали бы параметры режимов работы оборудования, такие как давления на входе и выходе КЦ, степени сжатия КЦ и температура газа. Эти зависимости должны позволять проводить численный расчет энергозатрат на уровне всей ГТС ЕСГ за приемлемое время. Такой подход позволит определять расход топливного газа, что в дальнейшем сможет провести оптимизацию энергозатрат на высоком уровне управления без необходимости детального моделирования работы каждого газоперекачивающего агрегата.

Несмотря на то, что в контексте отдельных теоретических исследований ссылки на определение вида зависимости энергозатрат от потока газа встречаются в мировой литературе, публикаций о решении прикладных потоковых задач на схемах ГТС с применением таких зависимостей найти не удалось.

С 2016 года в ПАО «Газпром» действует новый стандарт — СТО Газпром 3.3-2-044-2016 «Система норм и нормативов расхода ресурсов, использования оборудования и формирования производственных запасов ПАО "Газпром" (далее Стандарт 3.3-2-044-2016) [11], который заменил прежнюю Методику РД 153-39.0-112-2001. Стандарт 3.3-2-044-2016 описывает методический подход к нормированию расхода топливного газа в ГТО. Планирование затрат топливного газа базируется на анализе производственной необходимости и прогнозах транспорта газа на долгосрочные (3 года) и краткосрочные (годовые и квартальные) периоды. С использованием программно-вычислительного комплекса выполняются оптимизационные расчеты, определяющие количество ГПА, объем транспортируемого и компримируемого газа, его давление и температуру. Согласно этим данным, в соответствии с СТО Газпром 3.3-2-044-2016, определяется потребность ГТО в газе на СТН в физических величинах. Далее план затрат согласовывается с ПАО «Газпром», утверждается и доводится до ГТО.

Зависимость энергетических затрат на транспортировку газа по ГТС также описана в «Р Газпром 8-017-2020 Оптимизация потоков газа по ГТС ЕСГ с учетом энергозатрат на транспортировку при диспетчерском управлении» (утв. ПАО "Газпром" от 25.03.2020) [4].

ЦПДД зачастую требуется оперативно посчитать расход газа на собственные нужды КС в рамках всего ГТО или ГТС, а предложенная методика такого оперативного результата выдать не сможет. Декомпозиция ГТС ДО на участки, расчет энергозатрат по участкам по имеющимся коэффициентам и обратное интегрирование расходов энергозатрат в ГТО достаточно проблематично. Кроме того, рассчитанные коэффициенты не могут использоваться для прогнозирования расходов топливного газа, так как рассчитаны на основе фактических режимов работы ГТС в прошлом и могут не учитывать изменений конфигурации ГТС.

ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДА ТОПЛИВНОГО ГАЗА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Авторы статьи использовали следующий алгоритм прогнозирования расхода топливного газа на собственные технологические нужды (СТН) компрессорных станций (КС):

1. Сбор данных. Были получены фактические данные о работе одного из газотранспортных

обществ ПАО «Газпром» за 10 лет. Данные включали информацию о потоках газа в газотранспортном обществе (ГТО), из ГТО, закачке в подземные хранилища газа (ПХГ), отборе из ПХГ, газе для потребителей (населения и промышленности) в зоне деятельности ГТО, а также о запасах газа в системе. Дополнительно были собраны данные о расходе газа на СТН КС за каждый день.

2. Анализ и очистка данных. Проведен ручной анализ данных для выявления и удаления аномалий. Удалены данные, содержащие заведомо ошибочные и аномальные значения, такие как дни с нулевым запасом газа в системе, нулевым объемом потребления и расхода газа на СТН.

3. Применение метода изоляционного леса (Isolation Forest) [5]. Для очистки данных от выбросов использовался метод Isolation Forest с параметром выбросов в размере 2%.

4. Разделение данных. Данные были разделены на обучающую выборку и тестовую выборку для проверки моделей. Тестовая выборка включала данные за 30 дней.

5. Оценка моделей. Оценка моделей проводилась по t-критерию (тест Стьюдента) и F-тесту. Для сравнения моделей использовалась средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE).

6. Применение методов машинного обучения. К выборке данных применялись следующие методы машинного обучения:

- Многофакторная линейная регрессия;
- Модель RandomForest [6];
- Модель CatBoost [7];
- Модель XGBRegressor [8];
- Многофакторная линейная регрессия по кластерам.

Результаты работы моделей приведены ниже:

Таблица 1.

Результаты работы моделей прогнозирования расхода топливного газа

Модель	t-статистика	p-значение	F-тест
Многофакторная линейная регрессия	0,820	0,415	0,546
RandomForest	-1,31867	0,192462	0,153173
CatBoost	-0,04925	0,960892	0,439485
XGBRegressor	0,302916	0,763038	0,603488
Многофакторная линейная регрессия по кластерам	-0,49215	0,624474	0,474186

Наилучшие результаты показала модель многофакторной линейной регрессии, построенная на данных, разбитых на три кластера с помощью метода «к-ближайших соседей» [9]. Для каждого кластера была создана отдельная модель линейной регрессии, и тестовые данные были классифицированы обученной моделью, чтобы к каждому дню применить соответствующую регрессионную модель.

ВЫВОДЫ

В данной статье рассмотрены различные статистические подходы к оперативному прогнозированию расхода природного газа на собственные технологические нужды (СТН) в газотранспортных обществах. Были отмечены сильные и слабые стороны существующих и

применяемых в ПАО «Газпром» методов расчета расходов топливного газа.

Предложенный в статье метод оперативного прогнозирования расхода топливного газа, состоящий из нескольких этапов и не требующий детального анализа режимов работы отдельных компрессорных цехов, газоперекачивающих агрегатов и сбор данных газоизмерительных станций, а также не зависящий от параметров внешней среды (температура, скорость ветра, влажность воздуха), показал высокие и устойчивые результаты на тестовой выборке данных за 10 лет одного из газотранспортных обществ. Этот метод может быть рекомендован для использования при укрупненном расчете расхода топливного газа как в рамках одного газотранспортного общества, так и в целом по газотранспортной системе (ГТС). Для этого необходимо обучить модели классификации состояния и многофакторной линейной регрессии для каждого газотранспортного общества. В условиях доступности вычислительных мощностей современных ЭВМ, простоты самих моделей и независимости от внешних поставщиков данных, предложенный метод представляется очень перспективным.

Тем не менее, предложенный метод может быть улучшен и оптимизирован. В статье рассмотрен один из самых простых методов классификации состояний ГТС – K-means, а также один из самых распространенных методов прогнозирования временных рядов – линейная регрессия. Дальнейшее улучшение предложенного метода связано с использованием более продвинутых и сложных методов классификации и кластеризации, таких как DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) [10], Gaussian Mixture Models (GMM), спектральная кластеризация (Spectral Clustering), а также методов построения регрессий на основе сформированных кластеров, таких как метод опорных векторов (Support Vector Regression, SVR), случайный лес (Random Forest Regression), градиентный бустинг (Gradient Boosting Regression). Кроме того, для кластеризации и регрессии можно использовать нейронные сети (Neural Networks) с их огромными возможностями по настройке и различными вариациями в архитектуре.

В дальнейшем целесообразно провести испытания предложенных методов и архитектур, определить наиболее точные и устойчивые для каждого газотранспортного общества для оперативного расчета расхода топливного газа в целом по ГТС ПАО "Газпром".

Список литературы:

1. О производстве [Электронный ресурс]. – ПАО "Газпром" – Режим доступа: <https://www.gazprom.ru/about/production/> (дата обращения: 21.06.2024).
2. Владимир Смирнов "Что известно о подрыве газопроводов «Северный поток» и «Северный поток – 2»" [Электронный ресурс]. – ТАСС. – Режим доступа: <https://tass.ru/info/17258101> (дата обращения: 21.06.2024).
3. Татьяна Дятел "Украина отключила треть транзитного газа" [Электронный ресурс]. – ТАСС. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/5347383> (дата обращения: 21.06.2024).
4. Р Газпром 8-017-2020 Оптимизация потоков газа по ГТС ЕСГ с учетом энергозатрат на транспортировку при диспетчерском управлении» (утв. ПАО "Газпром" от 25.03.2020).
5. Liu F. T., Ting K. M., Zhou Z. H. Isolation forest //2008 eighth ieee international conference on data mining. IEEE, 2008. P. 413-422. Режим доступа: <https://doi.org/10.1109/ICDM.2008.17> (дата обращения: 21.06.2024).
6. Breiman L. Random Forest // Machine Learning. – 2001. – Vol. 45, no. 1. – P. 5–32.
7. Dorogush Anna Veronika, Ershov Vasily, Gulin Andrey. CatBoost: gradient boosting with categorical features support // arXiv preprint arXiv:1810.11363. — 2018.
8. Friedman J. Greedy Function Approximation: A Gradient Boosting Machine. – IMS 1999 Reitz Lecture.

9. Subramaniaswamy V., Logesh R. Adaptive KNN based recommender system through mining of user preferences // *Wireless Personal Communications*. 2017. V. 97. N 2. P. 2229–2247. doi: 10.1007/s11277-017-4605-5.

10. Ester M., Kriegel H.P., Sander J., Xiaowei Xu A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise // Published in Proceedings of 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD-96) // Institute for Computer Science, University of Munich – Режим доступа: <https://www.dbs.ifi.lmu.de/Publikationen/Papers/KDD-96.final.frame.pdf>.

11. СТО Газпром 3.3-2-044-2016 Система норм и нормативов расхода ресурсов, использования оборудования и формирования производственных запасов ПАО "Газпром". Методика нормирования расхода природного газа на собственные технологические нужды и технологические потери магистрального транспорта газа (с Изменением № 1).

12. «Перечень поручений по реализации Послания Президента Федеральному Собранию» (утвержден Президентом РФ 02.05.2021 № Пр-753) – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/65524>.

13. Указ Президента РФ от 03.05.2022 № 252 (ред. от 22.12.2022) **"О применении ответных специальных экономических мер в связи с недружественными действиями некоторых иностранных государств и международных организаций"** – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_416210/?ysclid=lx20gyls6466550884.

14. Перечень поручений по итогам пленарного заседания международного форума "Российская энергетическая неделя" (утвержден Президентом РФ 30.10.2022 № Пр-2067) – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/72797>.

15. Перечень поручений по реализации Послания Президента Федеральному Собранию (утвержден Президентом РФ 30.03.2024 № Пр-616) – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/73759>.