ISSN 2411-3336; e-ISSN 2541-9404

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА

Journal of Mining Institute

Сайт журнала: pmi.spmi.ru



Научная статья *Энергетика*

Методология управления развитием энергетики производственных объектов газовой отрасли

А.А.Шаповало

ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия

***Как цитировать эту статью*:** Шаповало А.А. Методология управления развитием энергетики производственных объектов газовой отрасли // Записки Горного института. 2025. Т. 272. № 16378. С. 181-190. EDN XWKKKQ

Аннотация

Современный этап развития России характеризуется динамичными изменениями условий хозяйствования предприятий газовой отрасли, что приводит, в том числе, к существенной корректировке подходов к развитию энергетики производственных объектов. В статье рассматриваются способы совершенствования энергоснабжения с учетом целей и задач развития производственных объектов, условий решения единой технологической задачи газовой отрасли – качественного газоснабжения потребителей. Оптимальное функционирование систем энергоснабжения с учетом особенностей протекания технологических процессов на производственных объектах предполагает скоординированность моделей развития энергетических комплексов производственных объектов с параметрами предприятий газовой отрасли на основе интегрированного единого информационного пространства на всех этапах их жизненного цикла. Структура энергокомплекса производственного объекта и связи его элементов со смежными системами обосновываются с учетом целей их создания и требований к производственным объектам. Решение задач для каждой составляющей системы и обмен информацией между эквивалентными системами происходит на основе разработанной иерархии задач оптимизации, корректируемых в зависимости от типа задач совершенствования энергоснабжения производственного объекта. Определение параметров и показателей энергетических комплексов, а также оптимизацию перечней и содержания работ по совершенствованию энергоснабжения производственных объектов планируется выполнять в соответствии с рассматриваемой методологией с использованием комплекса математических моделей.

Ключевые слова

системы энергоснабжения; газовая отрасль; риски; риск-ориентированный подход; системный подход; энергетический комплекс; задачи оптимизации

Поступила: 01.02.2024 ***Принята: 02.05.2024*** ***Онлайн: 18.06.2024*** ***Опубликована: 25.04.2025***

Введение

Системы энергоснабжения являются неотъемлемой и важной инфраструктурной составляющей, обеспечивающей функционирование производственных объектов газовой отрасли различного назначения, расположенных по всей территории Российской Федерации, включая удаленные районы Арктической зоны.

В газовой отрасли накоплен богатый опыт совершенствования энергоснабжения производственных объектов на базе разработанного общего концептуального подхода к их развитию[1]. На постоянной основе выполняются: анализ функционирования и реализация энергосберегающих мероприятий в системах энергоснабжения; поиск инновационных решений, участие в испытаниях и установка головных образцов современного энергетического оборудования на опытную эксплуатацию на производственных объектах; научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в части актуализации и разработки отраслевых стандартов и типовых решений, позволяющих повысить эффективность энергоснабжения объектов.

Трансформация мировой экономики и энергетики, введение различного рода санкций, существенные изменения в характере поставки продукции, диверсификация производства приводят к динамичным изменениям условий хозяйствования предприятий газовой отрасли нашей страны, изменению характера развития, реконструкции и технического перевооружения (РиТП) производственных объектов [1], делает актуальными целый ряд вопросов, в том числе:

[1] Годовой отчет ПАО «Газпром» за 2022 год. URL: https://www.gazprom.ru/f/posts/56/691615/gazprom-annual-report-2022-ru.pdf (дата обращения 31.01.2024).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.А.Шаповало, 2024

• оценка с помощью аппарата риск-ориентированного подхода (РОП) влияния на целевые показатели предприятий добычи, транспортировки, подземного хранения и переработки природного газа и жидких углеводородов газовой отрасли темпов и качества выполнения технического обслуживания и ремонта (ТОиР), а также РиТП объектов энергоснабжения;

• использование данных этой оценки для разработки мер по минимизации последствий от применения РОП к управлению в газовой отрасли;

• разработка мер минимизации затрат ресурсов на различных этапах совершенствования энергоснабжения группы производственных объектов и газовой отрасли в целом.

Наибольшая эффективность решения задач развития энергоснабжения производственных объектов достигается при создании оптимально функционирующих с учетом особенностей протекания технологических процессов на производственных объектах энергетических комплексов, интегрированных в единое инфраструктурное и информационное пространство предприятий газовой отрасли. При этом под энергетическим комплексом производственного объекта (ЭК ПрОб) понимается совокупность технических и программных средств общеобъектовых систем энергоснабжения и систем промышленного кондиционирования сооружений с установками внешних сетей электро-, тепло-, водоснабжения и водоотведения, которая за счет реализации комплексного технического решения и алгоритмов оптимального управления, включая использование элементов искусственного интеллекта в управлении, позволяет получить максимальное значение индекса технического состояния ЭК ПрОб в условиях применения РОП в управлении газовой отраслью («индекс технического состояния» – интегральный показатель технического состояния, объединяет значения других показателей технического состояния в единую величину, удобную для сравнения и оценки). Для определения показателя технического состояния объектов электроэнергетики используется величина физического износа, проявляемого в формах механического износа, коррозии и усталости металлов, деформации и разрушения, изменения физико-химических свойств вещества[2].

Оптимальное решение задач совершенствования энергоснабжения производственных объектов связано с совместным рассмотрением значительного количества вопросов при существенной неопределенности исходной информации и невозможности, в ряде случаев, использования формализованных методов определения отдельных показателей энергетических комплексов. В задачах такого класса обычно используется методология системного анализа [1-3] с применением РОП. В рамках перехода к РОП в управлении развитием в газовой отрасли разработана и утверждена Решением Совета директоров ПАО «Газпром» от 25.12.2018 «Политика управления рисками и внутреннего контроля ПАО «Газпром», которая является основой и для формирования методологии управления развитием энергетики газовой отрасли.

Для получения максимального технико-экономического эффекта в процессе совершенствования энергоснабжения производственных объектов газовой отрасли необходимо решить ряд научно-практических задач с целью разработки методологии управления развитием энергетики:

• Обосновать концепцию развития систем энергоснабжения производственных объектов предприятий в масштабе газовой отрасли с учетом обеспечения целевых показателей при применении РОП к управлению отраслью.

• Разработать в рамках создания системы поддержки принятия решений комплексную (адаптивную) модель определения и прогнозирования технических показателей энергетических комплексов для различных организационно-финансовых сценариев выполнения работ по совершенствованию энергоснабжения производственных объектов.

• Разработать типовые перечни мероприятий по совершенствованию энергоснабжения, позволяющие получить синергетический эффект от оптимизации технических решений и режимов функционирования систем энергоснабжения совместно функционирующих производственных объектов.

• Разработать методики, позволяющие эффективно решать задачи совершенствования энергоснабжения в масштабе производственного объекта, предприятия и отрасли в целом в условиях применения РОП в управлении газовой отраслью.

[2] Постановление Правительства РФ от 30.05.2023 № 878 «О внесении изменений в методику комплексного определения показателей технико-экономического состояния объектов электроэнергетики, в том числе показателей физического износа и энергетической эффективности объектов электросетевого хозяйства». URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202306020055 (дата обращения 31.01.2024).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2025. Т. 272. С. 181-190
© А.А.Шаповало, 2024

Обзор проблемы

В настоящее время в мировой практике существенно активизировалось использование различных методов анализа и теории системного подхода для принятия экономических и технических решений в нефтегазовой сфере. В частности, в работах [4-6] освещаются вопросы, связанные с управлением рисками на энергетических рынках. В работах [7, 8] рассматриваются преимущества и недостатки различных подходов к моделированию и управлению рисками для практического использования, а также инструменты и стратегии для производителей, оптовых потребителей, инвесторов и специализированных участников управления рисками на товарных рынках.

Пути и политические последствия для обеспечения устойчивого развития энергетики показаны в [9, 10], в [11] рассмотрена комплексная методология системного подхода к процессам энергосбережения на промышленном предприятии. Результаты обсуждения частных проблем энергосбережения приведены в [12-14], результативности внедрения мероприятий по повышению энергоэффективности – в работах [15, 16].

В [17] рассмотрена нечеткая многокритериальная структура принятия решений для оценки рисков интегрированной энергетической системы, идентифицированы 16 факторов риска из экономики, технологий, политики, общества и управления, выполнено сравнение предлагаемого метода с другими методами оценки рисков, показаны его преимущества. Особенности применения риск-менеджмента на этапе цифровой трансформации промышленных предприятий проанализированы в [18]. Основные аспекты принятия решений для оценки рисков энергетических компаний приведены в работах [19-21].

Оценка последствий энергетического перехода для деятельности и бизнес-моделей нефтегазовой отрасли рассмотрена в [22], риски при добыче и транспортировке газа – в [23-25]. В статье [24] обосновывается актуальность управления рисками в нефтегазовых компаниях в современных условиях. На основе систематизации видов рисков выделены основные риски в нефтегазовом бизнесе: политические, социально-экономические, экологические и научно-технические риски.

Исследования [26-28] содержат информацию об опыте применения системного подхода к оптимизации производственной инфраструктуры предприятий. В [28] излагаются аргументы в пользу упреждающего управления затратами на приобретение электроэнергии и рассматриваются пять ключевых рычагов, которые способствуют оптимизации энергоснабжения и управления рисками.

Результаты современных исследований применения искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли и его вклад в разработку рекомендаций по повышению устойчивости нефтегазовых проектов представлены в [29]. В работе приведены сведения о наиболее перспективных приложениях и методологиях искусственного интеллекта, которые могут способствовать решению задач по устойчивому развитию нефтегазовой отрасли.

В [30] показана актуальность проведения исследований в области энергоэффективности объектов минерально-сырьевого комплекса вследствие их специфического характера и высокой энергоемкости, в том числе с использованием функции определения эффективности применения энергосберегающих мероприятий на основе определенных индикаторов энергетической эффективности.

Результаты исследований по разработке прогностических моделей на основе ретроспективных данных о плановом потреблении электроэнергии в регионе со значительной долей предприятий минерально-сырьевого комплекса представлены в статье [31]. Получены модели на основе ансамблевых методов машинного обучения (алгоритмов случайного леса, градиентного бустинга XGBoost и CatBoost), а также рекуррентной нейронной сети долгой краткосрочной памяти (LSTM), позволяющие с достаточно высокой точностью создавать краткосрочные прогнозы электропотребления (на период от суток до недели).

Статья [32] посвящена разработке SCADA-компонента для компрессорного цеха магистрального газопровода. Разрабатываемый компонент позволяет отслеживать выбранные оператором характеристики технологического процесса перекачки газа. Разработка выполнена на базе операционной системы Windows и интегрированной среды TRACE MODE (SCADA/HMI).

В работе [33] представлены теоретические основы выявления особенностей использования нейросетей на предприятиях электроэнергетики в условиях цифровой трансформации, а также анализ методов формализации систем искусственного интеллекта для использования их в составе автоматизированных систем.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.А.Шаповало, 2024

В [34] приведены результаты анализа особенностей функционирования автономных электротехнических комплексов (ЭТК), по результатам которого разработана математическая модель ЭТК буровой установки с комбинированными источниками резервного питания.

Основные направления развития энергетики и модернизации систем электроснабжения технологических объектов топливно-энергетического комплекса рассмотрены в работах [35-37]. Вопросы совершенствования работы энергохозяйства и пути повышения качества энергоснабжения производственных объектов газовой отрасли изложены в работах [38, 39].

Необходима разработка методологии управления развитием энергетики производственных объектов для повышения эффективности совершенствования энергетики газовой отрасли в условиях применения РОП в управлении отраслью.

Методология управления развитием энергетики производственных объектов в газовой отрасли

Оптимизация процесса совершенствования энергоснабжения выполняется на основании анализа целей и задач развития совокупности производственных объектов (предприятий) газовой отрасли, решающих единую технологическую задачу – качественное газоснабжение потребителей – в следующей последовательности:

• Выделение совокупности производственных объектов, в интересах которой предполагается развитие энергоснабжения, проводится на основе анализа состава и функционального назначения производственных объектов (объекты газового промысла, магистрального газопровода, подземного хранения газа, газоперерабатывающий завод, объекты предприятия газовой отрасли в пределах бизнес-процесса и т.п.), влияющих на решение единой технологической задачи.

• Определение границ создаваемого (реконструируемого) ЭК ПрОб выполняется, исходя из обеспечения требований к энергоснабжению со стороны технологического оборудования во всех режимах функционирования группы производственных объектов при обеспечении требуемого уровня качества внешних связей. Под требованиями к энергоснабжению понимается количество и качество энергоресурсов, уровень надежности, безопасности и экономичность функционирования, удобство эксплуатации оборудования ЭК ПрОб. Внешние связи ЭК ПрОб – связи с внешними системами электроснабжения, теплоснабжения, водоснабжения и водоотведения, с существующими и проектируемыми компонентами системы автоматизации объектов. Качество внешних связей определяется составом технических и программных средств, отвечающих за их функционирование. В зависимости от разработанных требований и особенностей решаемых технологических задач и состава объектов набор функций, реализуемых ЭК ПрОб, их границы могут изменяться.

• Оценка перспектив развития ЭК ПрОб проводится на основании результатов технико-экономического обоснования, в ходе которого оцениваются состояние и технический уровень существующих систем энергоснабжения, эффекты от создания (реконструкции) энергокомплексов для конкретной группы производственных объектов, затраты на их создание и др.

• Формулирование задач оптимизации параметров ЭК ПрОб и разработка соответствующих критериев оптимальности. Оптимизация проводится по комплексному технико-экономическому показателю для минимизации затрат на достижение в ходе развития энергоснабжения заданной величины индекса технического состояния систем энергоснабжения. Процесс оптимизации должен предполагать учет обратного влияния технического уровня при создании и эксплуатации ЭК ПрОб на показатели группы производственных объектов в условиях применения риск-ориентированных принципов управления в газовой отрасли путем определения отдельных составляющих полученного эффекта в темпе технологических процессов и (или) процессов принятия решений с целью подготовки информации для принятия всесторонне обоснованного решения по управлению совершенствованием энергоснабжения.

Определение структуры энергокомплекса производственного объекта и связи его элементов со смежными системами выполняется на основании сформулированных целей создания и требований к ЭК ПрОб.

В качестве компонентов структуры энергетических комплексов производственных объектов выделяются общеобъектовые системы электроснабжения (СЭС), теплоснабжения (СТС), водоснабжения (СВС), водоотведения (СВО), вентиляции и кондиционирования воздуха производственных и бытовых зданий (СВиКВ), включая автоматизированные источники, сетевую структуру,

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2025. Т. 272. С. 181-190
© А.А.Шаповало, 2024

установки обеспечения качества энергоресурса, очистки исходной воды и стоков, а также средства сопряжения с автоматизированными системами производственного объекта и предприятия газовой отрасли.

Разделение ЭК ПрОб на структурные составляющие целесообразно проводить с учетом выполняемых ими групп функций определенного назначения. Состав структурных составляющих и их техническая реализация в зависимости от требований к ЭК ПрОб, технического уровня существующей системы управления и др. может различаться. Пример структуры и связей энергокомплекса производственного объекта с полным составом систем энергоснабжения показан на рис.1.

Снижение размерности оптимизационной задачи, связанной с развитием энергоснабжения группы производственных объектов.

С учетом многообразия технических решений существующих и создаваемых объектов энергоснабжения и разного влияния изменения отдельных технических параметров на показатели эффективности энергокомплексов, задача оптимизации процесса управления их развитием становится многомерной и многокритериальной. Снижение размерности оптимизационной задачи возможно путем замены совокупности реальных элементов энергокомплексов и их связей на эквивалентные системы, модели агрегатированных ЭК ПрОб, сохраняющие в себе лишь те свойства реальной системы, которые необходимо определять при решении задач функционирования и оптимизации.

Число уровней иерархии и количество эквивалентных систем для разных сценариев совершенствования энергоснабжения групп производственных объектов зависят от сложности исследуемой реальной группы энергетических комплексов, а также от сценарных условий финансирования процесса совершенствования энергоснабжения.

Агрегаты (в отличие от структурных составляющих отдельных подсистем) могут быть реализованы как в пределах отдельного ЭК ПрОб, так и группы энергетических комплексов совместно функционирующих производственных объектов предприятия газовой отрасли или в масштабе газовой отрасли в целом. Последнее зависит от требований к целям, структуре и функционированию,

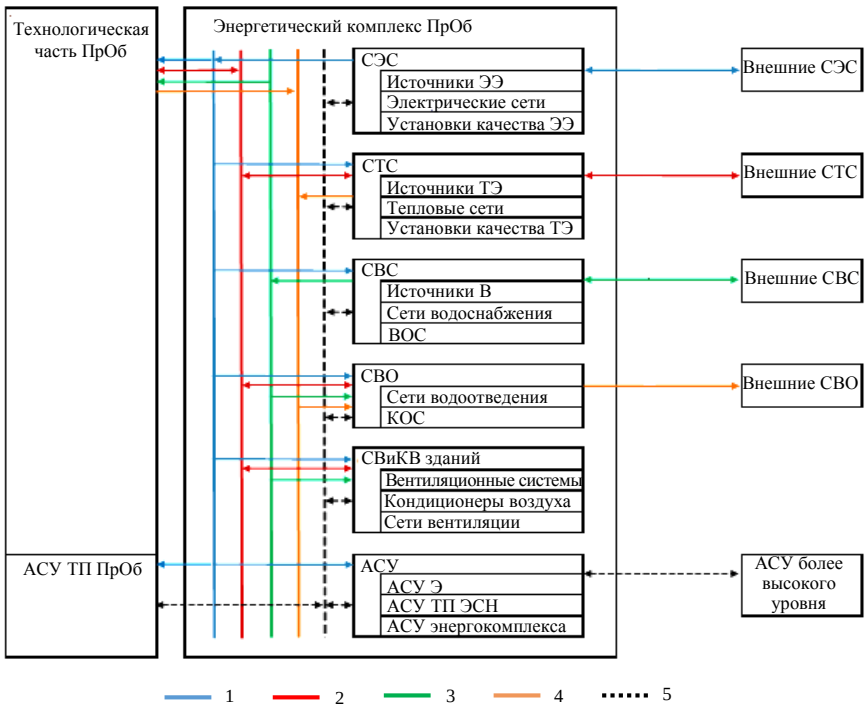


Рис.1. Структура энергетического комплекса производственного объекта с полным составом систем энергоснабжения

1 – электрическая энергия (ЭЭ); 2 – тепловая энергия (ТЭ);
3 – исходная вода (В); 4 – стоки канализационные (ВО); 5 – информационные потоки;
АСУ Э – автоматизированная система управления энергоснабжения;
АСУ ТП ЭСН – АСУ технологическими процессами электростанции собственных нужд

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.А.Шаповало, 2024

надежности, безопасности, техническому обслуживанию и ремонту компонентов ЭК ПрОб и др. Агрегатирование ЭК ПрОб производится с учетом очередности реализации мероприятий по развитию энергоснабжения.

Определение состава задач для эквивалентных систем.

Иерархия задач оптимизации строится на основе иерархии эквивалентных систем. Она создается с целью упорядочения задач оптимизации на каждом из этапов совершенствования энергоснабжения производственных объектов. При этом задачи оптимизации для каждого из этапов различаются по глубине и детальности проработки. С точки зрения иерархии решаемых задач процесс применения ЭК ПрОб разделен на этапы: исследование, создание, эксплуатация (с учетом возможных сочетаний режимов функционирования группы производственных объектов и внешних систем энергоснабжения).

Оптимальное распределение функций между структурными составляющими и возможность их перераспределения в зависимости от этапа реконструкции (создания) и режима функционирования ЭК ПрОб в рамках совершенствования энергоснабжения позволяет создавать безизбыточные группы энергетических комплексов. Это необходимо в случаях совершенствования энергоснабжения в несколько очередей, существенном изменении требований к энергоснабжению, изменении состава работающих источников, сетей производственного объекта и внешних систем энергоснабжения, и может реализовываться, в том числе, средствами интеллектуальных систем автоматизации.

Определение состава показателей и способов обмена энергетическими ресурсами и информацией между эквивалентными системами.

Структурные составляющие ЭК ПрОб обмениваются между собой и внешними системами (электроснабжения, автоматизации более высокого уровня и др.), энергетическими ресурсами и информацией, которая может быть условно разделена на исходную, промежуточную, искомую и обратную; на внешнюю и внутреннюю [3].

На этапах жизненного цикла ЭК ПрОб решаются три группы задач:

• задача оптимизации требований к энергоснабжению ПрОб в зависимости от текущего ИТС и достижимого средствами реконструкции ИТС при выделенном объеме финансирования. Решение задачи обеспечивается информацией по обратной связи 1-го уровня (ОС-1) для каждого уровня иерархии задач оптимизации ЭК ПрОб от уровня иерархии 1 (газовая отрасль ОС-1.1) до уровня иерархии 5 (производственный объект ОС-1.5);

• задача оптимизации перечня и состава работ по мероприятиям развития энергоснабжения ПрОб в условиях заданных ограничений финансирования программы по достижению требуемого уровня ИТС (общего и (или) по отдельным составляющим) на этапе создания ЭК ПрОб. Решение задачи обеспечивается информацией по обратной связи 2-го уровня (ОС-2.1 – ОС-2.5);

• задача оптимизации перечня и состава работ по мероприятиям развития энергоснабжения ПрОб в условиях заданных ограничений финансирования программы по достижению требуемого уровня ИТС (общего и (или) по отдельным составляющим) на этапе эксплуатации ЭК ПрОб. Решение задачи обеспечивается информацией по обратной связи 3-го уровня (ОС-3.1 – ОС-3.5).

В условиях существенной неопределенности исходной информации и отсутствия строгой формализации при определении ряда показателей задачи оптимизации в процессе управления развитием энергоснабжения производственных объектов газовой отрасли решаются комбинированными методами – сужения Парето-оптимальных исходов и экспертными. Иерархия задач оптимизации на этапах развития энергетических комплексов производственных объектов газовой отрасли приведена на рис.2.

Анализ балансов выработки – потребления энергоресурсов и информации, которой отдельные агрегаты должны обмениваться между собой и внешними системами на различных этапах жизненного цикла ЭК ПрОб, позволит в дальнейшем более обоснованно решать оптимизационную задачу по определению приоритетов в реализации мероприятий по совершенствованию энергоснабжения и по распределению функций между агрегатами и отдельными структурными составляющими энергокомплексов.

Поиск оптимального перечня и состава работ по мероприятиям развития ЭК ПрОб связан с определением текущего значения ИТС ЭК ПрОб для различных уровней иерархии при сочетаниях состава и содержании мероприятий, возможных к реализации за счет выделенных средств на программу достижения требуемого уровня ИТС энергоснабжения.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2025. Т. 272. С. 181-190
© А.А.Шаповало, 2024

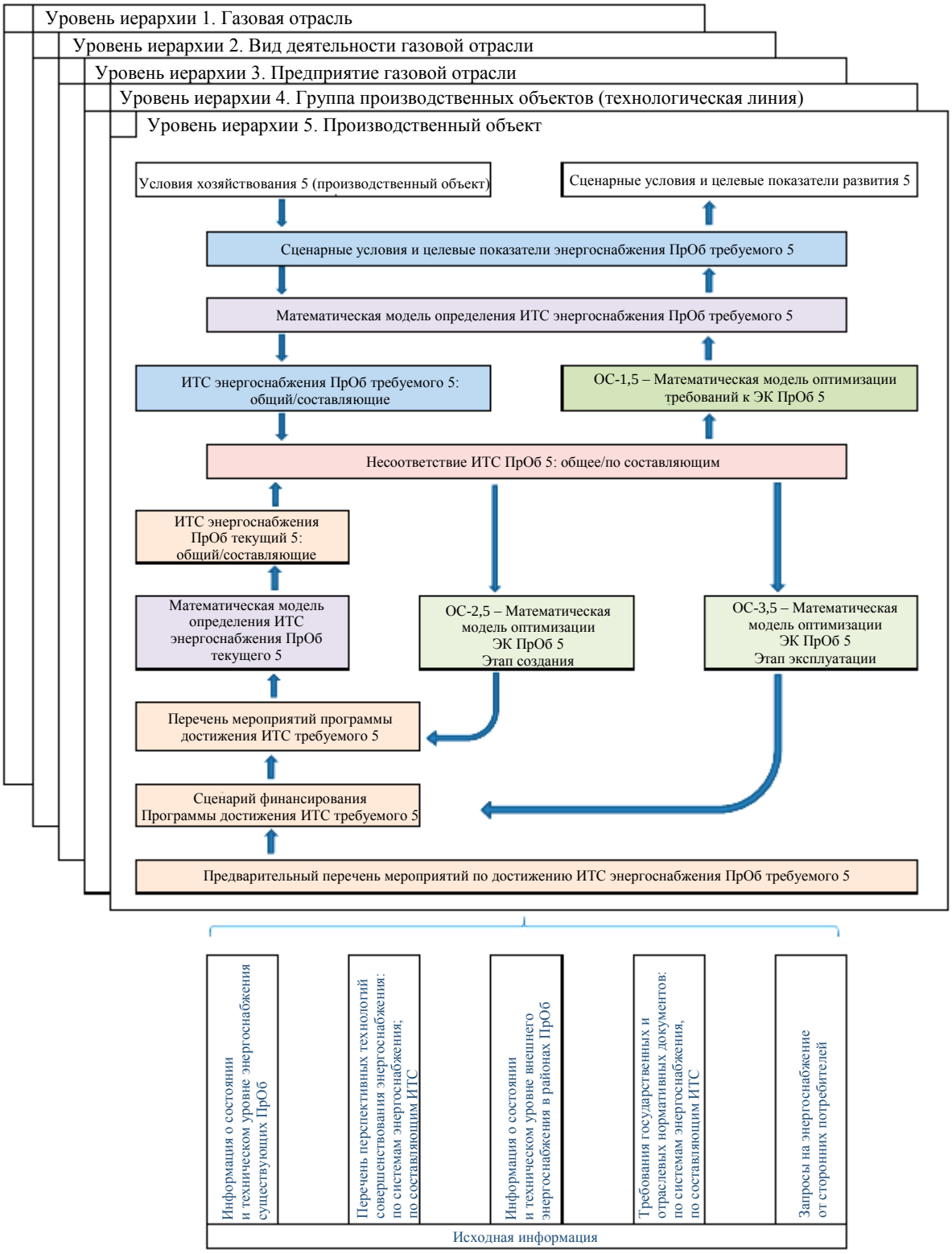


Рис.2. Иерархия задач оптимизации на этапах развития ЭК ПрОб газовой отрасли

Экстремальные значения отдельных показателей ЭК ПрОб и энергоснабжения в целом в большинстве случаев не являются суммой экстремальных значений показателей отдельных элементов и подсистем [3]. При наличии нескольких несводимых критериальных показателей требуется ранжировать критерии, выделяя один из них в качестве главного и используя остальные в виде ограничений.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Состав математических моделей определения величин параметров и показателей энергетических комплексов, а также оптимизации перечней и содержания работ по развитию энергоснабжения производственных объектов.

Комплекс математических моделей должен соответствовать перечню задач, решаемых в рамках развития энергоснабжения ПрОб. Генеральная модель должна позволять трансформировать величины заданных целевых показателей производственных объектов (ЦПпр) в требуемые целевые показатели энергоснабжения ПрОб (ЦПпр.э) и далее в величину требуемого индекса технического состояния энергоснабжения группы производственных объектов (ИТСпр.э.тр), функционирование которых напрямую влияет на достижение заданных ЦПпр.

Модель позволяет оценивать величину интегрального показателя энергоснабжения для заданного уровня иерархии ИТСпр.э.тр и величины составляющих его показателей: обеспеченности количества энергоносителей, качества энергоносителей, надежности энергоснабжения, безопасности энергоснабжения, энергоэффективности энергоснабжения, удобства эксплуатации (экономичности эксплуатации) энергокомплексов.

Основой процесса развития энергоснабжения должны стать следующие математические модели:

• модель определения текущего ИТС энергоснабжения заданной группы ПрОб как функции совокупности исходной информации, представленной на рис.2;

• модель оптимизации перечня и состава работ по достижению требуемого уровня ИТС энергоснабжения в условиях применения РОП к управлению в газовой отрасли (этап создания ЭК ПрОб). Данная модель должна позволять строить семейства трендов интегрального показателя и составляющих ИТС энергоснабжения для анализируемой группы ПрОб при различных сочетаниях перечней и состава работ, а также капитальных вложений в программу по достижению заданного уровня ИТС ПрОб для всех уровней иерархии с учетом проектных и фактически полученных в процессе создания показателей объектов энергоснабжения;

• модель оптимизации перечня и состава работ по достижению требуемого уровня ИТС энергоснабжения в условиях применения РОП к управлению в газовой отрасли (этап эксплуатации созданных ЭК ПрОб). В отличие от моделей этапа создания, модели этапа эксплуатации ЭК ПрОб оценивают различные варианты достижения требуемого уровня ИТС энергоснабжения, в том числе с учетом оптимизации совместного функционирования созданных ЭК ПрОб при определенном уровне их эксплуатации.

В состав комплекса должны входить адаптивные математические модели, требующие минимально необходимого количества исходной информации и позволяющие:

• обосновывать уровень требований по распределению баланса выработки и обеспечения качества энергоресурсов между источниками и установками ЭК ПрОб и внешними системами энергоснабжения, а также к информационным свойствам отдельных структурных составляющих ЭК ПрОб;

• определять необходимые коммуникационные возможности структурных составляющих ЭК ПрОб для обеспечения распределенной выработки и обеспечения качества энергоресурсов требуемого уровня;

• прогнозировать реализацию заданных сценарных условий, нагрузки на отдельные системы энергоснабжения и пр. с целью обоснованного принятия решения по оптимизации перечня и состава работ по совершенствованию энергоснабжения.

Результаты моделирования процессов развития энергоснабжения являются основой для выработки структурированного предложения от системы поддержки принятия решений с целью оптимизации процесса совершенствования энергоснабжения производственных объектов отрасли.

Обсуждение результатов

С использованием описанной методологии разработаны Концепция развития и Комплексная целевая программа реконструкции и технического перевооружения энергетики производственных объектов газовой отрасли.

Методология явилась инструментом логической организации проведения исследований и средством расчета показателей, что позволило на основе решения задачи многокритериальной оптимизации сформулировать общее видение вектора развития энергоснабжения в условиях динамичного изменения условий хозяйствования и ограничений на финансирование программ развития, а также сформировать оптимальный перечень и последовательность выполнения мероприятий по

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Записки Горного института. 2025. Т. 272. С. 181-190
© А.А.Шаповало, 2024

реконструкции энергетики производственных объектов с целью достижения максимального значения индекса технического состояния объектов энергетики в масштабе отрасли.

Ранее основным инструментом формирования комплексных программ являлись лишь методики определения показателей экономической эффективности мероприятий реконструкции, не учитывающие важные технические аспекты функционирования энергетических комплексов.

На сегодняшний день не решены задачи разработки математических моделей поиска соответствия между целевыми производственными показателями различного уровня и минимально необходимым для этого техническим уровнем энергоснабжения групп производственных объектов предприятий отрасли, что является предметом дальнейших научных исследований.

Заключение

Динамичные изменения условий хозяйствования и использование РОП в газовой отрасли привели к необходимости разработки методологического подхода для повышения эффективности управления развитием энергетики производственных объектов, основанного на всестороннем анализе параметров совместно функционирующих технологических установок и энергетических комплексов производственных объектов с целью решения поставленных бизнес-задач.

Разработанная методология управления развитием энергетики производственных объектов основана на положениях системного анализа и позволяет оптимизировать при изменении условий функционирования процесс совершенствования энергоснабжения за счет решения многокритериальной задачи оптимизации при определении индекса технического состояния ЭК ПрОб в условиях ограничений.

Использование методологии позволило на системном уровне обосновать оптимальный перечень и очередность реализации мероприятий по совершенствованию энергетики производственных предприятий газовой отрасли в рамках разработки программы реконструкции и технического перевооружения энергоснабжения отрасли.

Дальнейшие научные исследования связаны с разработкой на базе предложенной методологии системы поддержки принятия решений, позволяющей путем структурирования разнородной информации о текущем состоянии и возможных вариантах совершенствования энергетики газовой отрасли оптимизировать процесс решения бизнес-задачи производственных объектов в рамках реализации различных сценарных условий развития отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Никифоров С.И., Медведев К.А., Гитарский М.Л.* Российская нефтегазовая отрасль в условиях четвертого энергоперехода и изменения климата // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8. № 3. С. 74-87. DOI: 10.21513/2410-8758-2022-3-74-87

2. *Маркелов В.А., Бронников А.Н., Шаповало А.А. и др.* Концепция развития энергетики производственных объектов в условиях динамичного изменения условий хозяйствования предприятий газовой отрасли // Газовая промышленность. 2023. № S3 (853). С. 8-11.

3. *Воропай Н.И., Подковальников С.В., Труфонов В.В. и др.* Обоснование развития электроэнергетических систем: методология, модели, методы, их использование. Новосибирск: Наука, 2015. 448 с.

4. *Ишутина Т.А.* Управление рисками в энергетических компаниях Российской Федерации // Развивая энергетическую повестку будущего: Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК, 10-11 декабря 2021, Санкт-Петербург, Россия. СПб: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина), 2021. С. 339-343.

5. Handbook of Risk Management in Energy Production and Trading / Ed. by R.M.Kovacevic, G.Ch.Pflug, M.T.Vespucci. New York: Springer, 2013. 505 p. DOI: 10.1007/978-1-4614-9035-7

6. *Swindle G.* Valuation and Risk Management in Energy Markets. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 487 p. DOI: 10.1017/CBO9781139568302

7. *Burger M., Graeber B., Schindlmayr G.* Managing Energy Risk. A Practical Guide for Risk Management in Power, Gas and Other Energy Markets. Wiley, 2014. 448 p. DOI: 10.1002/9781118618509

8. *Камчатова Е.Ю.* Управление рисками генерирующих энергокомпаний // Вестник университета. 2018. № 2. С. 50-56. DOI: 10.26425/1816-4277-2018-2-50-56

9. *Бахтеева Н.З., Шацких З.В.* Некоторые аспекты управления рисками в электроэнергетике // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2015. № 1 (25). С. 111-124.

10. *Xianlei Chen, Manqi Wang, Bin Wang et al.* Energy Consumption Reduction and Sustainable Development for Oil & Gas Transport and Storage Engineering // Energies. 2023. Vol. 16. Iss. 4. № 1775. DOI: 10.3390/en16041775

11. *Sucic B., Peckaj M., Tomsic Z., Uranic J.* Systematic approach for improving energy efficiency in industrial facilities, from energy audit to practical implementation – case study production of autoclaved aerated concrete // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 116. № 00083. DOI: 10.1051/e3sconf/201911600083

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

12. *Kelchevskaya N.R., Shirinkina E.V., Atlasov I.V.* Assessing energy efficiency factors in industrial companies // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. № 042001. DOI: 10.1088/1757-899X/862/4/042001

13. *Тарасенко В.Н., Денисова Ю.В.* Проблема энергосбережения в России // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г.Шухова. 2016. Т. 1. № 11. С. 63-68. DOI: 10.12737/22375

14. *Уляшева В.М., Пономарев Н.С., Мартьянова А.Ю., Суханова И.И.* Энергосбережение на объектах добычи и транспортировки нефти и газа. СПб: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. 216 с.

15. *Hashim K.M., Hassim Mimi H., Ng D.K.S., Ten J.Y.* Leading Energy Performance Indicator: Tracking of Energy Management Systems in Oil and Gas Companies // ASM Science Journal. 2019. Vol. 12. 16 p. DOI: 10.32802/asmscj.2019.312

16. *Arriola-Medellín A.M., López-Cisneros L.F., Aragón-Aguilar A. et al.* Energy efficiency to increase production and quality of products in industrial processes: case study oil and gas processing center // Energy Efficiency. 2019. Vol. 12. Iss. 6. P. 1619-1634. DOI: 10.1007/s12053-019-09803-0

17. *Gasumov E., Gasumov R., Suleymanov G., Gurbanov K.* Risk management in the production and transportation of natural gas under the conditions of the economic crisis in the energy market // Reliability: Theory & Applications. The Fourth Eurasian Risk Conference and Symposium, 11-13 October 2022, Baku, Azerbaijan. 2022. Vol. 17. Special Issue 4 (70). P. 502-508

18. *Пащенко Д.С., Комаров Н.М.* Риск-менеджмент – ключевой элемент в цифровой трансформации промышленного предприятия // Мир новой экономики. 2021. Т. 15. № 1. С. 14-27. DOI: 10.26794/2220-6469-2021-15-1-14-27

19. *Sterev N., Biolcheva P.* Market Mechanisms for Risk Management in Energy // Economic Alternatives. 2022. Iss. 1. P. 132-141. DOI: 10.37075/EA.2022.1.08

20. *Nazarova F., Voropayeva T., Horobets N., Sokolova O.* Energy risk management in urban projects management // International Journal of Human Capital in Urban Management. 2023. Vol. 8. Iss. 2. P. 143-160. DOI: 10.22034/IJHCUM.2023.02.01

21. *Рахмани Д.* Основные подходы к оценке эффективности применения методологии анализа и управления рисками в энергетической компании // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16. № 9. С. 46-55 (англ.). DOI: 10.36724/2072-8735-2022-16-9-46-55

22. *Мастепанов А.М.* Энергетический переход: к чему готовиться мировому нефтегазу // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2019. № 10 (178). С. 5-14. DOI: 10.33285/1999-6942-2019-10(178)-5-14

23. *Londoño A.A., Velásquez J.D.* Risk Management in Electricity Markets: Dominant Topics and Research Trends // Risks. 2023. Vol. 11. Iss. 7. № 116. DOI: 10.3390/risks11070116

24. *Lenkova O.V.* Risk management of oil and gas company in terms of strategic transformations // Espacios. 2018. Vol. 39. № 6. 30 p.

25. *Бабаков А.В., Саулин А.Д.* Идентификация и классификация рисков газотранспортных предприятий // Вопросы экономики и права. 2018. № 10 (124). С. 75-83.

26. *Groten M., Gallego-García S.* A Systematic Improvement Model to Optimize Production Systems within Industry 4.0 Environments: A Simulation Case Study // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. Iss. 23. № 11112. DOI: 10.3390/app112311112

27. *Anthony Paul, Lawrence Kelvin, Kelvin Brown.* Optimizing IT Growth: Strategies for Building and Scaling Robust Infrastructure Systems // Ladoke Akintola University of Technology. URL: https://www.researchgate.net/publication/377447014 17.01.2024 (дата обращения 16.02.2024).

28. *Bryan G., Carlson Ch., Gaponenko S., Mitra Sh.* The Benefits of Modeling and Optimizing Production Systems: An Application on Civil Infrastructure Projects. URL: https://www.curt.org/2023/10/30/the-benefits-of-modeling-and-optimizing-production-systems-an-application-on-civil-infrastructure-projects/ (дата обращения 16.02.2024).

29. *Waqar A., Othman I., Shafiq N., Mansoor M.S.* Applications of AI in oil and gas projects towards sustainable development: a systematic literature review // Artificial Intelligence Review. 2023. Vol. 56. Iss. 11. P. 12771-12798. DOI: 10.1007/s10462-023-10467-7

30. *Шклярский Я.Э., Замятина Е.Н., Замятин Е.О.* Оценка энергетической эффективности электротехнического комплекса // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 3. С. 339-347.

31. *Клюев Р.В., Моргоева А.Д., Гаврина О.А. и др.* Прогнозирование планового потребления электроэнергии для объединенной энергосистемы с помощью машинного обучения // Записки Горного института. 2023. Т. 261. С. 392-402.

32. *Ильюшин Ю.В., Афанасьева О.В.* Разработка Scada-модели компрессорной станции магистрального газопровода // Записки Горного института. 2019. Т. 240. С. 686-693. DOI: 10.31897/PMI.2019.6.686

33. *Унижаев Н.В.* Особенности внедрения нейросетей и систем искусственного интеллекта на предприятиях электроэнергетики // Вопросы инновационной экономики. 2023. Т. 13. № 1. С. 215-232. DOI: 10.18334/vinec.13.1.116945

34. *Червонченко С.С., Фролов В.Я.* Исследование работы автономного электротехнического комплекса с комбинированным составом резервных источников питания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2022. Т. 24. № 4. С. 90-104. DOI: 10.30724/1998-9903-2022-24-4-90-104

35. *Богачков И.М., Хамитов Р.Н., Валиев М.К.* Пути выбора оптимального класса напряжения системы электроснабжения газовых месторождений // Электротехнические системы и комплексы. 2020. № 4 (49). С. 35-41. DOI: 10.18503/2311-8318-2020-4(49)-35-41

36. *Саушев А.И., Еразумов М.И., Романов Л.Р. и др.* Интеллектуальное управление системой электроэнергетики нефтяного месторождения // Автоматизация и IT в нефтегазовой области. 2023. № 4 (54). С. 30-40.

37. *Токарев И.С., Югай В.Ф., Толмачев В.Н. и др.* Применение систем накопления электроэнергии в составе генерирующего оборудования систем электроснабжения производственных объектов ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2023. Спец. вып. № 3 (853). С. 34-40.

38. *Чеканский А.В., Ширшов Д.Н., Маркова В.Н. и др.* Перспективы применения атомных источников генерации энергии на объектах ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2024. № 3 (862). С. 74-83.

39. *Шаповало А.А., Коноплев Т.Ф., Аверьянов В.К. и др.* Пути повышения качества энергоснабжения производственных объектов ПАО «Газпром» в современных условиях // Наука и техника в газовой промышленности. 2022. № 2 (90). С. 93-101.

Автор **Анатолий Антонович Шаповало,** *канд. техн. наук, начальник управления, An19660106@yandex.ru (ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия).*

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0