

ОСОБЕННОСТИ АГРЕГИРОВАНИЯ МИРОВЫХ ГАЗОВЫХ РЫНКОВ

Калинина Жанна Вадимовна

К.т.н., н.с., e-mail: zhannochka_k@mail.ru

Илькевич Николай Иванович

Д.т.н., гл.н.с., e-mail: ilkev@isem.irk.ru

Дзюбина Татьяна Владимировна

К.т.н., с.н.с., e-mail: tvleo@isem.irk.ru

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 130

Аннотация. Моделирование развития систем газоснабжения для создания мировых прогнозов их развития и взаимодействия газовых рынков выполняется на основе моделей потоков газа. В данной работе представлена иерархия газовых моделей, в основном зарубежных, проведен их анализ, описаны возможности, учитываемые факторы и получаемые результаты. Во всех рассмотренных моделях данные по газоснабжающим системам представлены в агрегированном виде, хотя методы агрегирования и их точность не указываются. В работе кратко описываются разработанные авторами методы агрегирования для решения задач оптимального развития газоснабжающих систем при их многоуровневом моделировании.

Ключевые слова: математическая модель, газоснабжающая система, мировые газовые рынки, агрегирование, расчетная схема, технико-экономические показатели.

Цитирование: Калинина Ж.В., Илькевич Н.И., Дзюбина Т.В. Особенности агрегирования мировых газовых рынков // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 3 (15). С. 132–143. DOI: 10.25729/2413-0133-2019-3-12

Введение. При комплексном исследовании развития газоснабжающей системы создать точную модель, адекватно описывающую все ее объекты практически невозможно. Большое значение при решении различных задач приобретает агрегирование реальной схемы системы газоснабжения, определение агрегированных характеристик ее объектов и представление исходной информации в виде расчетных схем. В результате агрегирования схемы представляются в упрощенном виде, удобном для визуализации результатов расчетов и выполнения исследований, адекватно отражаются основные технико-экономические показатели системы.

Единая система газоснабжения (ЕСГ) России представляет собой уникальную систему большого размера, в мире нет соответствующего аналога, тем не менее, в Европе также ведутся исследования оптимального развития больших газовых систем. Речь, прежде всего, идет о системе газоснабжения Европы, в которую входят системы газоснабжения разных стран, в том числе учитываются и поставки газа из ЕСГ РФ.

Методы сетевого анализа, основанные на теории графов [12], получили широкое применение при решении задач в области исследования операций. Моделирование развития

систем газоснабжения для создания мировых прогнозов их развития и взаимодействия газовых рынков выполняется на основе моделей потоков газа [4].

В работе рассматривается иерархия мировых газовых моделей. Описываются известные модели, используемые для создания мировых прогнозов развития и взаимодействия газовых рынков.

1. Обзор моделей газовых рынков. Природный газ занимает все более важное место в энергетическом балансе развитых стран мира. Исследования мирового газового рынка, определение оптимальных стратегий его развития осуществляются с помощью множества моделей, которые, в зависимости от глубины и детальности проработки мировых газовых систем, можно представить в виде четырех уровней иерархии: мировые энергетические модели, мировые, европейские и национальные газовые модели.

Системы газоснабжения обычно представляются в виде трех подсистем: источников газа, сетей магистрального транспорта и потребителей.

1.1. Мировые энергетические модели. Верхний уровень иерархии представляют мировые энергетические модели, которые исследуют отрасли топливно-энергетического комплекса и описывают их взаимосвязи. К таким моделям относятся: International Energy Agency World Energy Model (IEA WEM), Energy Information Administration World Energy Projection System Plus (EIA WEPS+), а также российский Модельно-информационный комплекс SCANNER [7, 14, 15, 19, 25, 27]. В этих моделях информация по отраслям наиболее агрегирована. Конкуренция между различными видами топлива моделируется лишь на стороне спроса.

В моделях топливно-энергетического комплекса (ТЭК) узлы (регионы) газовой сети включают в себя несколько стран. Для них в укрупненном виде составляются прогнозы добычи, потребления, экспорта, импорта, цен, необходимых новых мощностей, инвестиций. Исследуются различные варианты развития газовых рынков в зависимости от различных мировых тенденций и политических влияний.

Мировая энергетическая модель (IEA WEM) [14] используется Международным энергетическим агентством (МЭА) для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования системы. Модель описывает всю глобальную энергетическую систему, включая основные виды энергий (угольную, нефтяную, газовую, ядерную, гидро- и биоэнергию). Большая часть исходных данных о предложении, спросе на энергию, а также ценах получена из собственных баз данных энергетической и экономической статистики МЭА [19].

Модель исследует глобальные и региональные энергетические перспективы (тенденции спроса, наличие предложения, ограничения, международную торговлю и энергетические балансы по секторам и видам топлива до 2040 года), экологические последствия использования энергии, последствия политических действий и технологических изменений.

При моделировании газовой отрасли производство в регионе моделируется на основе информации по ресурсам и темпам истощения, при этом учитываются производственные затраты и цены в регионе. Разница между внутренним производством и спросом определяет требования по экспорту и импорту газа. Торговля между регионами ограничивается существующими или планируемыми газопроводами, заводами по производству сжиженного природного газа и долгосрочными контрактами.

Международные цены на уголь, природный газ и нефть в модели рассчитываются с помощью итеративного моделирования. Они определяются как цены, необходимые для

стимулирования достаточных инвестиций в производство для удовлетворения прогнозируемого спроса.

Система прогнозирования мировой энергетики (EIA WEPS+) [25, 27] используется для оценки международных рынков энергоносителей (International Energy Outlook). Модель осуществляет среднесрочный прогноз и анализ развития энергетики. WEPS+ проектирует предложение, спрос и цены на энергию по странам или регионам, учитывая данные о состоянии различных экономик, международных энергетических рынков и энергетической политике.

WEPS+ состоит из нескольких модулей: предложения, спроса, макроэкономики, решателя, позволяющего находить равновесное решение для всех баз данных модели (используется метод итеративной оптимизации Гаусса – Зейделя), и программы передачи информации из одного модуля в другой, так как разные модули работают с данными разной степени детализации. Поэтому проводится их агрегирование и дезагрегирование.

Прогнозируя глобальный рынок природного газа, WEPS+ работает совместно с Международной моделью природного газа EIA INGM (International Natural Gas Model), которая содержит оценки запасов природного газа, затраты на переработку, добычу и транспортировку, спрос на энергию. INGM объединяет региональные проекты потребления энергии на основе модели WEPS+. При этом, WEPS+ интегрируется с национальной системой моделирования энергоэффективности (NEMS), которая представляет нижний уровень иерархии моделей, предложенной в данной работе. Итерационный процесс между INGM и WEPS+ используется для баланса мировых рынков природного газа [15].

Модельно-информационный комплекс SCANNER [7] разработан в Институте энергетических исследований РАН. Он содержит большие массивы энергетической, экономической и технической информации, математические модели для комплексного прогнозирования и оптимизации развития энергетики страны и мира по основным стадиям преобразования энергии – от производства (около 20 видов первичных энергоресурсов) до использования потребителями (10 основных энергоносителей). В состав комплекса входят несколько информационно-модельных блоков для максимального охвата проблем развития энергетики мира, России и ее регионов.

В газовом блоке осуществляется долгосрочное прогнозирование газовой отрасли: производства, экспорта и поставок газа на внутренний рынок, на основе данных по энергетическим потребностям экономики и условиям финансовой устойчивости газовых компаний при различных сценариях мировых цен, а также при различных вариантах ценообразования на газ в России и режимах налогового и таможенного регулирования.

1.2. Мировые газовые модели. Мировые газовые модели [3] исследуют развитие мировых рынков газа более детально. В моделях рассматриваются газовые рынки более чем семьдесят стран. Каждая страна рассматривается как отдельный рынок газа (узел). Некоторые страны в моделях разделены на несколько рынков. Учитываются сезонные неравномерности потребления газа, работа подземных хранилищ газа. Прогнозируются потоки газа, спрос, добыча, цены на газ, необходимые новые мощности газотранспортных коридоров и заводов по сжижению газа. Исследуются различные сценарии поведения участников газовых рынков.

В моделях вводятся виртуальные газопроводы [17], которые олицетворяют доставку до потребителей сжиженного природного газа (СПГ), с использованием автомобильных или морских перевозок.

Мировая газовая модель Nexant World Gas Model разработана компанией Nexant [20, 24, 28], создана для анализа развития газового рынка, на основе исследования различных сценариев. Регулярные обзоры газового рынка «Gas Market Outlook» базируются на решениях, полученных с помощью этой модели.

База данных модели периодически обновляется. Она содержит информацию по добыче (удельные издержки, налоги, объемы добычи), спросу в каждом узле, транспорту газа (тарифы и пропускные способности газопроводов), подземным хранилищам газа и информацию по поставкам сжиженного природного газа (СПГ). Для выполнения расчетов используется сетевая потоковая модель. Критерий оптимизации в данной модели – минимизация затрат добычи и транспорта газа.

Модель University of Maryland World Gas Model разработана коллективом авторов из Мэрилендского университета и Немецкого института экономических исследований [16]. Моделирует мировые газовые рынки, рассматривая более восьмидесяти стран. В отличие от предыдущей модели, здесь моделируется поведение игроков газового рынка, транспортная инфраструктура представляется только основными газопроводами между странами, используется нелинейная оптимизация, критерием оптимизации является максимизация дисконтированного дохода, рассчитываемого как разница между выручкой и издержками на добычу для каждого производителя в отдельности.

Программная среда Market Builder разработана компанией Altos Management Partners, однако в настоящее время права на платформу Market Builder принадлежат компании Deloitte Market Point [18, 21, 23]. Она применяется для создания и использования энергетических моделей, на ее основе функционирует несколько мировых газовых моделей.

Среда позволяет моделировать различные отрасли топливно-энергетического комплекса, представляя их структуру в виде узлов и ветвей.

Задача максимизации прибыли для каждого игрока газового рынка в отдельности и достижения Вальрасовского равновесия решается с помощью итерационного алгоритма.

1.3. Модели газового рынка Европы. Модели европейского рынка природного газа нацелены на определение оптимального развития газового рынка Европы [22]. С их помощью прогнозируют добычу, транспорт, потребление природного газа и цены на него. Основными моделями газового рынка Европы являются: NATGAS, GASTALE1, GASTALE2, GASTALE3, GASMOD, EUGAS, в них транспорт газа рассматривается в виде основных коридоров или отдельных трубопроводов высокого давления от производства до рынка и между рынками.

Чаще всего, моделируя добычу, газопроводный и сжиженный газ объединяют в один продукт с суммарной себестоимостью, производительностью и годовой или сезонной пропускной способностью. Каждая страна представляется как единый узел с суммарной себестоимостью, мощностью производства газа, инвестиционными и эксплуатационными затратами.

Условия транспорта газа внутри и за пределами Европейского союза в моделях принимаются одинаковыми, также не различаются поставки трубопроводного газа и СПГ. В системах транспортировки и хранения газа ограничения налагаются только на физические

возможности системы, предполагается равный доступ всех участников рынка, но практика действующих транспортных компаний показывает, что это не так. Газотранспортная система в моделях представляется, как единая сеть, не различая границы действия разных передающих компаний, характеризующихся отличающимися характеристиками. Транспортная инфраструктура в моделях различается и не всегда открыта. Это агрегированные сети, представляющие собой газотранспортные коридоры от производителей до рынков и между рынками. Расчет их производительностей тоже не описывается.

Модель EUGAS / TIGER представляет самую детализированную инфраструктуру газоснабжающей системы Европы [13].

Формирование цен в моделях различается. Модели GASTALE 1 и 2, и GASMODO учитывают только долгосрочные затраты. Некоторые модели предполагают двойную маргинализацию, когда каждый производитель и поставщик извлекает монопольную маржу с рынка, выбирая цену продажи, максимизирующую его прибыль. При двойной маргинализации моделируются линейные цены, а по газовым контрактам (Take or Pay) цены нелинейны.

Модель EUGAS предполагает совершенную конкуренцию, другие модели используют в грубом виде конкуренцию Курно в сочетании с совершенной конкуренцией. Конкуренция Курно подразумевает, что поставщики изменяют рыночные цены, действуя на количество, которое они продают на рынке.

Модель совершенной конкуренции позволяет технически просто представить рыночную власть: достаточно добавить наценку к чистой конкурентной цене. С введением наценки легко наблюдать за реакцией рынка.

Модель GASTALE1 предполагает идентичных поставщиков Курно на каждом национальном рынке. Модель GASMODO предполагает доминирующее положение поставщика на каждом национальном рынке, который может перепродавать часть импортируемого газа на другие национальные рынки.

1.4. Национальные газовые модели. Энергетические ресурсы и цены, спрос на конкретные энергетические услуги и другие характеристики энергетических рынков внутри некоторых стран сильно различаются. Национальные газовые модели более детально исследуют газовые рынки отдельной страны [26]. К таким моделям относится упомянутая выше Национальная система энергетического моделирования (NEMS). Модель была разработана и внедрена управлением энергетической информации (EIA) Министерства энергетики США. Она используется для прогнозирования энергетического, экономического, экологического воздействия и воздействия на безопасность в Соединенных Штатах альтернативной энергетической политики и различных допущений в отношении энергетических рынков. NEMS прогнозирует производство, импорт, транспортировку, потребление и цены на энергию с учетом допущений в отношении макроэкономических и финансовых факторов, мировых энергетических рынков, наличия ресурсов и затрат, поведенческих и технологических критериев выбора, стоимостных и эксплуатационных характеристик энергетических технологий и демографии.

Как уже отмечалось выше, сетевой анализ получил широкое применение при решении задач функционирования систем газоснабжения в различных условиях. Основу в этих задачах составляет проблема транспорта газа, т.е. проблема оптимального распределения потоков газа в системах. В России такими задачами стали заниматься в конце 1980 годов [4,

10, 11]. Первая программная реализация была выполнена Ефремовым В.А. для задачи относительно небольшой размерности [4].

Методические разработки, например [1, 2, 5, 8, 9 - 11], позволяют ставить и решать комплексные задачи по развитию систем газоснабжения в рамках ТЭК РФ, при учете расширения связей с другими отраслями народного хозяйства и с последующей детализацией решаемых вопросов.

2. Основные минусы представленных моделей. Представление инфраструктуры, как в зарубежных, так и в отечественных моделях, отличается. Однако, из доступных документов не ясно, как в конкретных моделях представлена различная информация. Схемы газоснабжающих систем используются в агрегированном виде, состоят из газотранспортных коридоров от источников до потребителей. Такая сеть требует определения агрегированных производительностей, однако, методы агрегирования не приводятся. Как говорится в работе [26], отсутствие прозрачности в получении агрегированной сети является общей проблемой моделирования.

Проведенный анализ как зарубежных, так и отечественных моделей показал, что недостаточно проработанными являются вопросы, которые, по составляющим агрегирования, можно разделить на три группы:

1) агрегирование объектов системы:

– потребность в природном газе чаще всего прогнозируется общей по всей стране или по округам;

– агрегированные узлы-источники представляются на схеме крупными месторождениями, при этом не учитываются мелкие месторождения и независимые производители газа;

– при агрегировании магистральных газопроводов выделяются основные газотранспортные коридоры, которые представляются в однопоточном исчислении с суммарной пропускной способностью. Остальные магистральные газопроводы часто не учитываются;

– предполагается совершенная конкуренция в производстве, транспорте и хранении газа.

2) агрегирование технико-экономических показателей объектов системы:

– при агрегировании нескольких месторождений в один узел-источник, а также потребителей газа в один узел-потребитель не учитывается пропускная способность магистральных газопроводов между ними;

– не учитываются коэффициенты расхода газа на собственные нужды и утечки для предприятий добычи и транспорта газа;

– не агрегируются экономические показатели системы, такие, как издержки на добычу газа в узлах-источниках и транспорт газа по дугам графа, что не позволяет в дальнейшем определить цену газа у потребителя;

– в России цены на газ для потребителей устанавливаются по ценовым поясам, рассчитываются они, исходя из цен на мазут, газойль и др., при этом не учитываются затраты на предприятиях добычи и транспорта газа.

3) агрегирование в квазидинамике по годам расчетного периода (долгосрочное, среднесрочное, годовое, сезонное планирование):

– при агрегировании по временным периодам упускаются более детальные показатели системы (например, при годовом планировании упускаются сезонные и режимные показатели).

3. Агрегирование газоснабжающих систем. В Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН разработан комплекс математических моделей сложных иерархически подчиненных задач оптимального развития систем газоснабжения на перспективу [5].

Задачи решаются на трех иерархических уровнях, начиная с верхнего с последовательной детализацией решений на более низких уровнях рассмотрения. На первом уровне рассматривается модель оптимизации структуры системы газоснабжения. В моделях второго и третьего уровней более детально описываются территориальные и производственные связи.

В зависимости от задач данные по системам газоснабжения исследуют с разной степенью детализации. Все модели используют агрегированную информацию по системе. Для решения перечисленных вопросов получили развитие методы агрегирования и многоуровневого моделирования газоснабжающей системы, а именно методы: разнесения затрат и потерь газа по узлам источникам и дугам агрегированного графа; определения оптимальных технико-экономических показателей для новых магистральных газопроводов и месторождений [5, 6].

ЕСГ России может агрегироваться до уровня субъектов РФ, а не только до уровня федеральных округов (как в Генеральной схеме), что позволяет уточнять и детализировать информацию по потреблению, транспорту и добыче газа. На основе предложенных методов была создана агрегированная расчетная схема ЕСГ и определены технико-экономические характеристики ее объектов [5, 6].

Построение графа модельной сети газоснабжающей системы основывается на следующих принципах:

- конфигурация сети отражает направления основных газотранспортных систем, местоположение в сети крупных газотранспортных переемычек, места подключения к магистральным газопроводам объектов – источников и потребителей;
- в качестве узлов сети выделяются места подключения к газотранспортным магистралям объектов добычи, хранения, потребления газа, а также точки ветвления потоков газа (в местах расположения узловых компрессорных станций);
- в качестве ветвей модельной сети выступают участки магистральных газопроводов, расположенные между двумя узлами сети;
- технико-экономические показатели элементов агрегированной сети получаются суммированием или усреднением соответствующих показателей элементов подробной схемы.

Создание агрегированной расчетной схемы ЕСГ и информационной базы основных технико-экономических показателей ее объектов позволяет решать задачу комплексного исследования развития ЕСГ, а именно:

- получение обобщенных количественных рекомендаций по капиталоемкости, технологическим показателям и издержкам различных вариантов развития газовой отрасли, по их трудоемкости, влиянию разных экспортных стратегий на развитие системы;

– исследование рациональных темпов и пропорций в развитии газоснабжения отдельных регионов и страны в целом.

Многочисленные расчеты и прогнозы по развитию ЕСГ, сделанные по предложенным агрегированным схемам, показали, что расчетные показатели (объемы добычи и потребления газа, оптовые и затратные цены), находятся в близком, сопоставимом диапазоне с фактическими показателями официальной статистической информации ПАО «Газпром».

Заключение. В работе рассмотрены газовые модели, исследующие мировые и региональные газовые рынки с различной степенью детализации. Все рассмотренные модели опираются на обширные информационные базы, в которых исходные данные определяются расчетным путем или на основе экспертных оценок. Модели больших газовых систем оперируют агрегированной информацией. Однако, принципы и принятые допущения при агрегировании исходной информации не всегда прозрачны. Анализ как зарубежных, так и отечественных моделей показал, что непроработанными остаются некоторые вопросы. Поэтому были предложены методы агрегирования, используемые при многоуровневом моделировании развития ЕСГ, для решения различных задач.

Исследование выполнено по проекту III.17.4.3 программы фундаментальных исследований СО РАН (АААА-А17-117030310437-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров А.В., Яковлев Е.И. Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. М. Недра. 1974. 432 с.
2. Вольский Э.Л., Гарляускас А.И., Герчиков С.В. Надежность и оптимальное резервирование газовых промыслов и магистральных газопроводов. М. Недра. 1980. 279с.
3. Горячев. А.А. Мировые газовые модели. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovye-gazovye-modeli.pdf> (дата обращения 10.07.2019)
4. Ефремов В.А. Сетевые потоковые модели для управления функционированием и развитием Единой системы газоснабжения: автореф. дисс. канд. техн. наук. М. ВНИИГаз. 1987. 22 с.
5. Илькевич Н.И., Дзюбина Т.В., Калинина Ж.В. Многоуровневое моделирование развития систем газоснабжения. Новосибирск. Наука. 2014. 217 с.
6. Калинина Ж.В. Разработка методов агрегирования газоснабжающих систем и исследование на их основе направлений развития Единой системы газоснабжения России на период до 2030 года : автореф. дис. канд. техн. Наук. Иркутск. 2016. 29 с.
7. Модельно-информационный комплекс SCANNER. Режим доступа: https://www.eriras.ru/files/skaner_light.pdf (дата обращения 10.07.2019)
8. Ниमेंья И.Н., Илькевич Н.И. Моделирование инвестиционной деятельности естественной монополии (на примере ОАО "Газпром"). Новосибирск. Наука. 1999. 122 с.
9. Самсонов Р.О. Методология формирования схемы развития и реконструкции газотранспортной системы РФ // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2007. №1. 10 с. Режим доступа: http://ogbus.ru/authors/SamsonovRO/SamsonovRO_1.pdf (дата обращения 10.07.2019)
10. Сухарев М.Г., Ставровский Е.Р. Резервирование систем магистральных трубопроводов. М. Недра. 1987. 168 с. справочник кн.1.

11. Сухарев М.Г., Ставровский Е.Р., Брянских Е.Е. Оптимальное развитие систем газоснабжения. М. Недра. 1981. 294 с.
12. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Потоки в сетях: Пер. с англ. М. 1966. 276 с.
13. Martinez Miguel, Paletar Martin, Hecking Harald. The 2014 Ukrainian crisis: Europe's increased security position. Available at: http://www.ewi.uni-koln.de/fileadmin/user_upload/Institut/Startseite_Text/The_2014_Ukrainian_crisis_Europe_increased_security_position.pdf (accessed 10.07.2019)
14. World energy model documentation 2016 version. Available at: http://www.iea.org/media/weoweb%20site/2016/WEM_Documentation_WEO2016.pdf (accessed 10.07.2019)
15. CGEP_American Gas to the Rescue. <https://www.yumpu.com/en/document/view/32922271/cgep-american-gas-to-the-rescue> (accessed 10.07.2019)
16. Egging R., Holz F., Gabriel S.A. The World Gas Model: A Multi-Period Mixed Complementarity Model for the Global Natural Gas Market // Energy. Elsevier. 2010. Т. 35. №10.
17. European Gas Target Model Review and Update Available at: http://www.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/ACER_Market_Monitoring_Report_2014.pdf (accessed 10.07.2019)
18. Global LNG Outlook // Deloitte Center for Energy Solutions, Deloitte Market Point. Deloitte Development. 2012. Available at: http://www.marinemoney.com/sites/all/themes/marinemoney/forums/MMWeek12/presentations/wednesday/LNG_2.00Choi.pdf (accessed 10.07.2019)
19. International Energy Agency. Available at: <http://www.iea.org/statistics> (accessed 10.07.2019)
20. Licensing the World Gas Model // Nexant. London: 2011. http://server.nexant.com/ecc/docs/World_Gas_Model_Licensing_Flyer_May2011.pdf (accessed 10.07.2019)
21. Nesbitt D. M. Scientific Solutions for Complex Decision Problems Challenging Senior Management // Altos Management Partners. 2005. Available at: <http://web.stanford.edu/class/msande290/WarnersCourse-312005.pdf> (accessed 10.07.2019)
22. Smeers Yves. Gas models and three difficult objectives. 2009. Available at: http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/serien/e/CORE/dp2008_9.pdf (accessed 10.07.2019)
23. Solutions. Deloitte Development. 2011. Available at: http://www.deloitte.com/as-sets/Dcom-United_States/Local_Assets/Documents/Energy_us_er/us_er_Market_Point_World_Oil_Model_Technical_brochure_081011.pdf (accessed 10.07.2019)
24. Subscribe to Nexant Thinking: World Gas Model // Nexant. London: 2014. Available at: www2.nexant.com/brochure/world-gas-model (accessed 10.07.2019)
25. The European side of the ledger. http://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/The%20European%20Side%20of%20the%20Ledger_American%20Gas%20to%20the%20Rescue%3F.pdf (accessed 10.07.2019)
26. U.S. Energy Information Administration -EIA Available at: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/overview/> (accessed 10.07.2019)
27. World Energy Projection System Plus: Global Activity Module Available at: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/weps/documentation/pdf/wepsplus2016_globalactivitymodule.pdf (accessed 10.07.2019)
28. World Gas Model // Nexant. London: 2010. Available at: http://server.nexant.com/ecc/docs/World_Gas_Model.pdf (accessed 10.07.2019)

FEATURES OF AGGREGATION OF GLOBAL GAS MARKETS

Zhanna V. Kalinina

PhD., Researcher, e-mail: zhannochka_k@mail.ru

Nikolai I. Ilkevich

Doctor of engineering sciences, e-mail: ilkev@isem.irk.ru

Tatiana V. Dzyubina

PhD., Senior Researcher, e-mail: tvleo@isem.irk.ru

Melentiev Energy Systems Institute of Siberian branch of Russian Academy of Science
130, Lermontov street, Irkutsk, Russia, 664033

Abstract. Modeling the development of gas supply systems to create world forecasts of their development and interaction of gas markets is carried out on the basis of gas flow models. This paper presents a hierarchy of gas models, mainly foreign ones, their analysis, describes the capabilities, factors taken into account and the results obtained. In all considered models, data on gas supply systems are presented in aggregated form, although the methods of aggregation and their accuracy are not indicated. The paper briefly describes the developed methods of aggregation for solving problems of optimal development of gas supply systems with their multi-level modeling.

Keywords: mathematical model, gas supply system, global gas markets, aggregation, design scheme, technical and economic indicators.

The research was carried out within the project III.17.4.3 of the Fundamental research program of SB RAS (AAAA-A17-117030310437-4).

References

1. Aleksandrov A.V., Yakovlev Ye.I. *Proyektirovaniye i ekspluatatsiya sistem dal'nego transporta gaza* [Design and operation of long haul gas systems]. Moscow. Nedra. 1974. 432 p. (in Russian)
2. Vol'skiy E.L., Garlyauskas A.I., Gerchikov S.V. *Nadezhnost' i optimal'noye rezervirovaniye gazovykh promyslov i magistral'nykh gazoprovodov* [Reliability and optimal reservation of gas fields and gas pipelines.]. Moscow. Nedra. 1980. 279 p. (in Russian)
3. Goryachev. A.A. *Mirovyeye gazovyeye modeli* [World gas models]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovyeye-gazovyeye-modeli.pdf> (accessed 10.07.2019) (in Russian)
4. Yefremov V.A. *Setevyye potokovyeye modeli dlya upravleniya funktsionirovaniyem i razvitiyem Yedinoy sistemy gazosnabzheniya: avtoref. diss. kand. tekhn. Nauk* [Network flow models for managing the operation and development of the Unified Gas Supply System: abstract of the thesis. Cand. tech. sciences]. Moscow. VNIIGAZ. 1987. 22 p. (in Russian).
5. Il'kevich N.I., Dzyubina T.V., Kalinina Zh.V. *Mnogourovnevoye modelirovaniye razvitiya sistem gazosnabzheniya* [Multi-level modeling of gas supply systems development]. Novosibirsk. Nauka=Science. 2014. 217 p. (in Russian).
6. Kalinina Zh.V. *Razrabotka metodov agregirovaniya gazosnabzhayushchikh sistem i issledovaniye na ikh osnove napravleniy razvitiya Yedinoy sistemy gazosnabzheniya Rossii na*

- period do 2030 goda : avtoref. dis. kand. tekhn. Nauk [Development of methods for the aggregation of gas supplying systems and the study on their basis of the directions of development of the Unified Gas Supply System of Russia for the period up to 2030: abstract of thesis. Cand. tech. sciences]. Irkutsk. 2016. 29 p. (in Russian).
7. Model'no-informatsionnyy kompleks SCANNER [Model information complex SCANNER]. https://www.eriras.ru/files/skaner_light.pdf (in Russian).
 8. Nimen'ya I.N., Il'kevich N.I. Modelirovaniye investitsionnoy deyatelnosti yestestvennoy monopolii (na primere "Gazprom") [Modeling the investment activities of a natural monopoly (on the example of Gazprom)]. Novosibirsk. Nauka=Science. 1999. 122 p. (in Russian).
 9. Samsonov R.O. Metodologiya formirovaniya skhemy razvitiya i rekonstruktsii gazotransportnoy sistemy RF [Methodology of formation of the development scheme and reconstruction of the gas transmission system of the Russian Federation] // Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftegazovoye delo= Electronic scientific journal Oil and Gas Business. 2007. №1. 10 p. Available at: http://ogbus.ru/authors/SamsonovRO/SamsonovRO_1.pdf. (in Russian)
 10. Sukharev M.G., Stavrovskiy Ye.R. Rezervirovaniye sistem magistral'nykh truboprovodov [Backing up trunk pipeline systems]. Moscow. Nedra. 1987. Book.1. 168 p. (in Russian).
 11. Sukharev M.G., Stavrovskiy Ye.R., Bryanskikh Ye.Ye. Optimal'noye razvitiye sistem gazosnabzheniya [Optimal development of gas supply systems]. Moscow. Nedra. 1981. 294 p. (in Russian)
 12. Ford L.R., Falkerson D.R. Potoki v setyakh [Streams in the networks]. Moscow. 1966. 276 p. (in Russian)
 13. Martinez Miguel, Paletar Martin, Hecking Harald. The 2014 Ukrainian crisis: Europes increased security position. Available at: http://www.ewi.uni-koln.de/fileadmin/user_upload/Institut/Startseite_Text/The_2014_Ukrainian_crisis_Europes_increased_security_position.pdf (accessed 10.07.2019)
 14. World energy model documentation 2016 version. Available at: http://www.iea.org/media/weoweb_site/2016/WEM_Documentation_WEO2016.pdf (accessed 10.07.2019)
 15. CGEP_American Gas to the Rescue. <https://www.yumpu.com/en/document/view/32922271/cgep-american-gas-to-the-rescue> (accessed 10.07.2019)
 16. Egging R., Holz F., Gabriel S.A. The World Gas Model: A Multi-Period Mixed Complementarity Model for the Global Natural Gas Market // Energy. Elsevier. 2010. T. 35. № 10.
 17. European Gas Target Model Review and Update Available at: http://www.acer.europa.eu/Official_documents/Acts_of_the_Agency/Publication/ACER_Market_Monitoring_Report_2014.pdf (accessed 10.07.2019)
 18. Global LNG Outlook //Deloitte Center for Energy Solutions, Deloitte Market Point. Deloitte Development. 2012. Available at: http://www.marinemoney.com/sites/all/themes/marinemoney/forums/MMWeek12/presentations/wednesday/LNG_2.00Choi.pdf (accessed 10.07.2019)
 19. International Energy Agency. Available at: <http://www.iea.org/statistics> (accessed 10.07.2019)
 20. Licensing the World Gas Model // Nexant. London: 2011. http://server.nexant.com/ecc/docs/World_Gas_Model_Licensing_Flyer_May2011.pdf (accessed 10.07.2019)

21. Nesbitt D. M. Scientific Solutions for Complex Decision Problems Challenging Senior Management // Altos Management Partners. 2005. Available at: <http://web.stanford.edu/class/msande290/WarnersCourse-312005.pdf> (accessed 10.07.2019)
22. Smeers Yves. Gas models and three difficult objectives. 2009. Available at: http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/serien/e/CORE/dp2008_9.pdf (accessed 10.07.2019)
23. Solutions. Deloitte Development. 2011. Available at: http://www.deloitte.com/as-sets/Dcom-United States/Local Assets/ Documents/Energy_us_er/us_er_Market Point World Oil Model Technical brochure_081011.pdf (accessed 10.07.2019)
24. Subscribe to Nexant Thinking: World Gas Model // Nexant. London: 2014. Available at: www2.nexant.com/brochure/world-gas-model (accessed 10.07.2019)
25. The European side of the ledger. http://energypolicy.columbia.edu/sites/default/files/The%20European%20Side%20of%20the%20Ledger_American%20Gas%20to%20the%20Rescue%3F.pdf (accessed 10.07.2019)
26. U.S. Energy Information Administration -EIA Available at: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/overview/> (accessed 10.07.2019)
27. World Energy Projection System Plus: Global Activity Module Available at: https://www.eia.gov/outlooks/ieo/weps/documentation/pdf/wepsplus2016_globalactivitymodule.pdf (accessed 10.07.2019)
28. World Gas Model // Nexant. London: 2010. Available at: <http://server.nexant.com/ecc/docs/World Gas Model.pdf> (accessed 10.07.2019)