

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Гаер Константин Павлович

**Математическое моделирование и оптимизация схемы  
транспортировки газа по газотранспортной системе**

Направление подготовки 01.04.02  
«Прикладная математика и информатика»

**АВТОРЕФЕРАТ  
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Работа выполнена в ФГБОУ ВО  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук,  
доцент, Козлова Ольга Викторовна

Рецензент: кандидат технических наук,  
доцент кафедры Математики,  
ФГБОУ ВО «Амурский гуманитарно-  
педагогический государственный  
университет»,  
Севастьянов Антон Мамиевич  
кандидат физико-математических наук

Защита состоится 25 июня 2021 года в 09 часов 50 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 321/3.

Автореферат разослан 17 июня 2019 г.

Секретарь ГЭК



Ю.Г. Егорова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

*Актуальность темы* заключается в том, что задачи по повышению эффективности энергоснабжения территорий страны ставятся во всех федеральных и региональных программах развития. Одним из способов решения данной задачи является газификация населенных пунктов в целях обеспечения дешевыми энергоресурсами промышленных предприятий края и улучшения условий жизни населения.

Обычно программы газификации предусматривают строительство магистрального газопровода отвода до границы населенного пункта. Дальнейшая обязанность по развитию сетей газораспределения и доставке энергоресурса может возлагаться как на органы местного самоуправления, так и представителей бизнеса, которые могут инвестировать денежные средства в сеть газораспределения, а затем получать доход от оказания услуг по транспортировке энергоресурса по данным сетям.

Залогом успеха реализации строительства газотранспортных систем является понимание потребностей потребителей и оценка как собственной, так и общей газотранспортной системы региона. Немаловажную роль здесь играет прогнозирование развития газификации региона, которое позволяет заранее увидеть узкие места в газотранспортной системе и своевременно предпринять меры по их устранению.

Разрабатываемый в диссертации метод может быть использован для прогнозирования развития потребления природного газа в регионе и выявления наиболее экономически эффективных маршрутов транспортировки газа с заданными техническими параметрами.

*Целью работы* является разработка методологии позволяющей в условиях наличия на рынке газораспределения региона нескольких газодобывающих и газораспределительных организаций обеспечить потребителя ресурсом в необходимых объемах, с заданными техническими характеристиками по минимальной стоимости услуг на его транспортировку.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- анализ газотранспортных систем независимых ГРО, функционирующих на территории Дальневосточного региона.
- изучение методов анализа эффективности процесса транспортировки природного газа, применяемыми в ГРО.
- анализ существующих методик и математических моделей которые используются для моделирования транспортировки природного газа.
- изучение возможности применения математического анализа базового уровня на задачи моделирования баланса приема-передачи газа, прогнозирования потребления газа, транспортировки газа для получения экономически оптимального маршрута в условиях существующих технических ограничений газотранспортной системы.
- описание математической модели транспортировки природного газа для получения экономически оптимального маршрута в условиях существующих технических ограничений газотранспортной системы.
- разработка программного продукта, реализующего полученную математическую модель.

*Объектом исследования* являются региональные газотранспортные системы.

*Предметом исследования* являются аналитические методы и математические модели, которые могут быть применены в сфере газообеспечения локальных территориальных образований.

*Научная новизна исследования.* Бизнес-планирование деятельности по поставке и транспортировке газа достаточно сложный процесс, ошибки в котором очень дорого и долго исправлять. Модель позволяет:

- на уровне утверждения программ газификации регионов и принятия инвестиционных программ технического развития предприятия оценить сбалансированность и достаточность системы газораспределения региона требованиям, которые предъявляются со стороны потребителей.

- проанализировать баланс между добычей, поставкой и транспортировкой природного газа, что является залогом бесперебойного и безаварийного энергоснабжения.

- оценить возможности по обеспечению потребителя природным газом в необходимых объемах, с заданными техническими характеристиками по минимальной стоимости услуг на его транспортировку в условиях распределенной газотранспортной системы региона.

- программный продукт на базе системы 1С Предприятие позволяет производить интеграцию с действующими информационными системами предприятия.

*Достоверность и обоснованность результатов исследования.* Основные положения и полученные в диссертации выводы аргументированы и подтверждены на основе анализа исторических данных. Разработанный программный продукт был апробирован в АО «Газпром газораспределение Дальний Восток» с использованием реальных исторических данных о потреблении природного газа и запланированных объемов поставки.

*Практическая значимость.* Данная модель позволит:

- конечному потребителю рассчитать маршрут транспортировки с минимальными затратами;

- владельцам газотранспортных систем – прогнозировать работу своих систем при изменении режимов газопотребления и выявлять узкие места;

- региональным властям - оценить работу газотранспортной системы региона в целом, прогнозировать ее развитие и определять необходимость модернизации системы при составлении программ газификации региона;

Разрабатываемый в диссертации метод может быть использован для выявления наиболее экономически эффективного маршрута транспортировки газа с заданными техническими параметрами. Позволит прогнозировать изменения маршрута в случае изменения потребностей потребителей, покажет изменения, которые произойдут в газотранспортной системе в случае появления новых потребителей, что в свою очередь позволит заранее

определить узкие места в системе и своевременно предпринять меры по их устранению.

Возможно внедрение результатов диссертации в газораспределительные организации и органы местного самоуправления в качестве методологии оценки функционирования региональных газотранспортных систем.

#### *Публикации*

– Гаер, К.П. Анализ внешних факторов, влияющих на баланс приема-передачи природного газа на территории Хабаровского края при составлении математической модели процесса/ К.П. Гаер, О.В. Козлова // Молодежь и наука: Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Комсомольск-на-Амуре, 06-10 апреля 2020 г.: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. Ч. 2. – С. 241-244.

– Гаер, К.П. Применение многофакторного корреляционного анализа для прогнозирования потребления газа/ К.П. Гаер, О.В. Козлова // Актуальные проблемы информационно-телекоммуникационных технологий и математического моделирования в современной науке и промышленности Комсомольск-на-Амуре, 20-25 марта 2021 г.: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2021. Готовится к публикации.

#### *Структура и объем*

Магистерская диссертация состоит из введения, общей характеристики, трех глав, заключения и списка литературы. Объем работы – 75 страницы, в том числе 20 рисунков, 3 таблицы и 1 приложение

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Введение* раскрывает актуальность темы, определяются цели и задачи исследования, объект, предмет, указываются научная новизна, практическая значимость, достоверность и обоснованность результатов исследования.

*В первой главе* рассматривается сложившаяся система газоснабжения Российской Федерации.

В связи с провозглашенной президентом России В.В. Путиным программой газификации страны в ближайшие несколько лет ожидается существенное увеличение протяженности магистральных и распределительных газопроводов, а также количества газифицированных предприятий и домовладений.

В связи с тем, что деятельности по поставке и транспортировке газа достаточно сложный процесс, ошибки проектирования и строительства в котором дорого и технически сложно исправлять, потребность в системах моделирования данного бизнес-процесса существенно возрастет. Применение модели газоснабжения региона позволит оценить возможности по обеспечению потребителей природным газом в необходимых объемах, с заданными техническими характеристиками по минимальной стоимости услуг на его транспортировку в условиях распределенной газотранспортной системы региона.

При этом модель может быть использована для решения задач разных организационных структур. Так например:

- для конечного потребителя будет ценно, что модель может рассчитать маршрут транспортировки с минимальными затратами;

- для владельца газотранспортной системы модель поможет прогнозировать работу сети в исторической перспективе и своевременно выявить узкие места;

- для региональных властей - оценить работу газотранспортной системы региона в целом, прогнозировать ее развитие и определять

необходимость модернизации системы при составлении программ газификации региона;

В целях выбора инструментов моделирования проводится анализ действующих инструментов математического анализа и дается определение модели.

Ставится задача моделирования следующих процессов газоснабжения потребителей:

1. Прогнозирование потребления газа:

- оперативное (день, неделя месяц);
- текущее (годовое);
- перспективное (от 3 лет).

2. Моделирование транспортировки газа в условиях ограничения газотранспортной системы.

3. Сохранение баланса между возможностью газодобывающих, газотранспортных компаний и потребностей потребителей газа.

Выбираются инструменты, которые будут использованы для составления моделей:

Задачи прогнозирования потребления газа:

- методы корреляционного анализа.
- методы статистического наблюдения.

Задачи оптимизации транспортировки газа:

- методы линейного программирования

*Во второй главе* осуществляется постановка поставленных задач для математического моделирования.

Обеспечения безопасного, бесперебойного и безаварийного газоснабжения региона достигается за счет баланса отгрузки и потребления природного газа:

$$V_{\text{отгр}} = V_{\text{тр}} + \Delta = V_{\text{потр}},$$

где  $V_{\text{отгр}}$  – объем газа добытый на месторождении;

$V_{\text{потр}}$  – объем газа необходимый потребителям;

$V_{\text{тр}}$  – объем газа транспортируемый по магистральным газопроводам;

$\Delta$  – изменение запаса газа, в газотранспортной системе.

Для понимания возможности реализации государственных программ газификации региона важно, чтобы инвестиционные программы поставщиков газа, газотранспортных компаний превосходили планируемый объем потребления газа.

Чтобы убедиться в выполнении этого условия и выявить узкие места, которые позволят своевременно устранить проблему низкой пропускной способности сети или невозможности поставщика обеспечить потребность потребителя необходима модель Планирования перспективного потребления:

$$\sum_{i=1}^n V_{y \text{ план}} \leq \max_y V_{\text{тр}} \leq \max_y V_{\text{отгр}},$$

где  $y$  – год планирования;

$V_{y \text{ план}}$  – плановый объем потребления  $i$ -ого контрагента в  $y$ -ом году;

$V_{\text{тр}}$  – возможный объем транспортировки газа в  $y$ -ом году;

$V_{\text{отгр}}$  – возможный объем добычи газа в  $y$ -ом году.

При этом необходимо учитывать, что нагрузка на газотранспортную систему в течение года будет неравномерна и модель должна дополнительно учитывать мгновенную пропускную способность газотранспортной сети:

$$\sum_{i=1}^n \max(Q_{\text{час}}) \leq \max(Q_{\text{тр}}),$$

где  $Q_{\text{час}}$  – максимальный часовой расход газа  $i$ -ого потребителя;

$Q_{\text{тр}}$  – максимальная мгновенная пропускная способность газотранспортной сети.

Визуализация трех перспективных планов поставки транспортировки и потребления позволяет наглядно увидеть узкие места и своевременно предпринять меры по их устранению (рисунок 1).

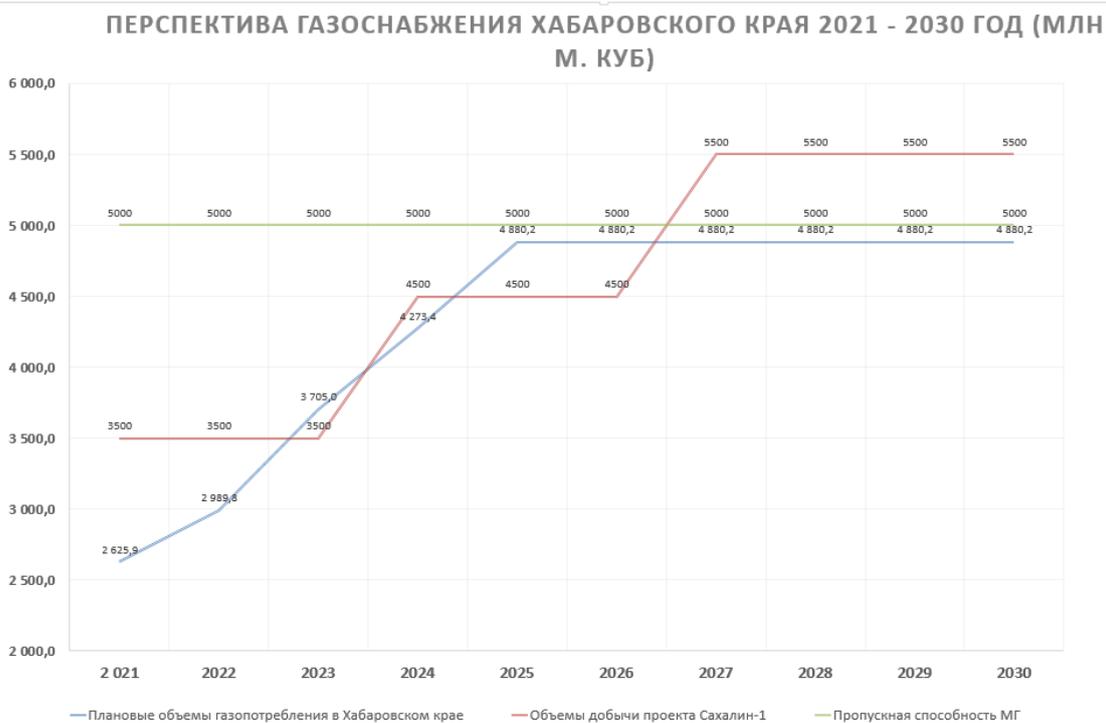


Рисунок 1 – Визуализация перспективы газоснабжения 2021 – 2030 годы

При моделировании текущего (годового) потребления целесообразно ориентироваться на заявки потребителей, а также учитывать исторические данные о фактическом потреблении за трехлетний период.

Для оперативного планирования предлагается инновационная модель прогнозирования объема потребления газа – многофакторный корреляционный анализ вида:

$$V_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + \dots + a_n * x_n,$$

где  $a_0 \dots a_n$  – факторы, влияющие на расход;

$x_1 \dots x_n$  – коэффициенты зависимости от фактора;

$n$  – количество потребителей.

В модели применены факторы:

- температура окружающей среды;
- день недели;
- месяц.

Применение этого метода позволяет существенно повысить точность оперативного потребления (рисунок 2).

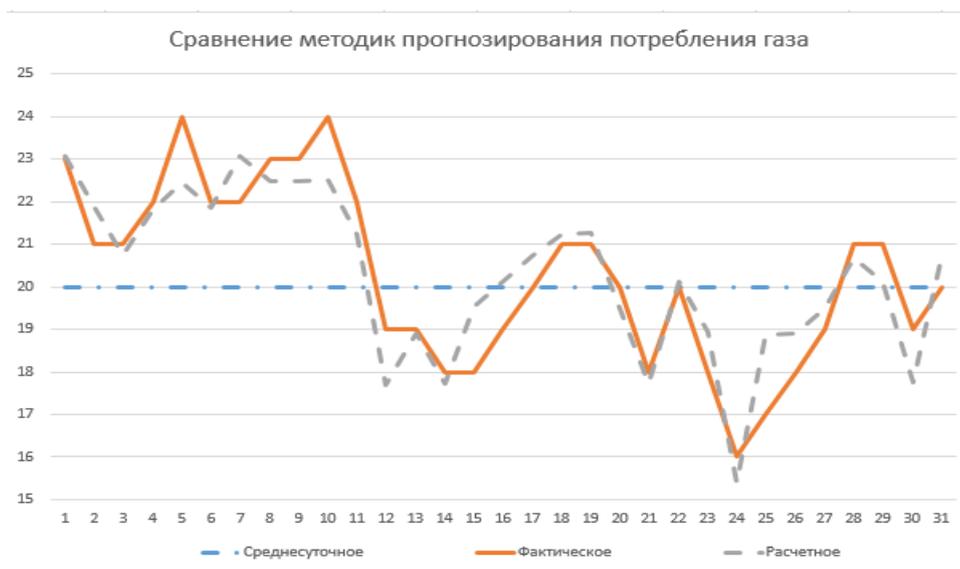


Рисунок 2 – Результат работы корреляционной модели прогнозирования потребления газа

Повышение точности прогнозирования оперативного потребления имеет огромное значение для формирования заявки газодобывающей компании и управления запасами газа в газотранспортной системе.

Приведены примеры описания и моделирования методов линейного программирования для решения оптимизационных задач распределения ресурсов.

*В третьей главе* описывается процесс разработки программного продукта имитации работы газотранспортной системы на базе 1С Предприятие 8.3.

Использование данного программного продукта позволяет существенно сократить время разработки программы, встроенные средства управления СУБД автоматически обеспечивают целостность данных и представление их в нормальной форме.

Не компилируемый интерпретируемый язык позволяет реализовывать программные алгоритмы с минимальными временными затратами, а работа

системы будет гарантирована на любом персональном компьютере с установленной системой 1С Предприятие.

Также необходимо учитывать, что штатные инструменты репликации позволяют достаточно легко выгружать и загружать данные из других учетных корпоративных систем (например 1С Бухгалтерия), используемых на предприятии.

*В заключении* подводятся основные итоги исследований, проводится анализ полученных результатов.

### **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

– Гаер, К.П. Анализ внешних факторов, влияющих на баланс приема-передачи природного газа на территории Хабаровского края при составлении математической модели процесса/ К.П. Гаер, О.В. Козлова // Молодежь и наука: Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований. Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Комсомольск-на-Амуре, 06-10 апреля 2020 г.: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2020. Ч. 2. – С. 241-244.

– Гаер, К.П. Применение многофакторного корреляционного анализа для прогнозирования потребления газа/ К.П. Гаер, О.В. Козлова // Актуальные проблемы информационно-телекоммуникационных технологий и математического моделирования в современной науке и промышленности Комсомольск-на-Амуре, 20-25 марта 2021 г.: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2021. Готовится к публикации.