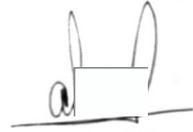


На правах рукописи



ВЕЛЬНИКОВСКИЙ Анатолий Анатольевич

**МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ
ИНФРАСТРУКТУРЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ
ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ
(НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Специальность: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Санкт-Петербург – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

- Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Черняев Игорь Олегович
- Официальные оппоненты: **Данилов Игорь Кеворкович**
доктор технических наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (г. Москва), Департамент машиностроения и приборостроения, директор;
- Хакимов Рамиль Тагирович**
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», кафедра «Автомобилей, тракторов и технического сервиса», доцент;
- Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

Защита диссертации состоится «23» апреля 2019 г. в 16⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д **212.223.02** при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190103, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, аудитория 219.

Тел/факс: 8 (812) 316-58-72,
E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialty/personal/velnikovskiy-anatoliy-anatolevich>.

Автореферат разослан «14» марта 2019 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



Олещенко Елена Михайловна

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Данное диссертационное исследование посвящено разработке методики, позволяющей производить обоснование параметров региональной инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС).

В настоящее время существует тенденция интенсивного внедрения в качестве топлива для автотранспортных средств компримированного природного газа (КПГ). Однако, несмотря на увеличение объёмов потребления газомоторного топлива (ГМТ), наблюдается инфраструктурная недостаточность, связанная с малым числом АГНКС, позволяющая говорить об отсутствии инфраструктуры.

Инфраструктура заправочных станций, являющаяся одним из определяющих факторов развития автомобильного транспорта, в контексте данной работы понимается как совокупность АГНКС в пределах региона, характеризующаяся определёнными параметрами и создающая условия для функционирования автомобильного транспорта, использующего в качестве топлива КПГ.

Для эффективной работы она должна удовлетворять определённым требованиям (минимизация плеч заправки, удовлетворение спроса, обеспечение безопасности и пр.), которые, в свою очередь, определяются особенностями потребителей и характеристикой региона.

Научное решение данной практической задачи предполагает разработку математических моделей, описывающих зависимость параметров инфраструктуры от указанных особенностей и характеристик. Существующие модели и разработанные на их основе методики решают задачи по обеспечению заправки автомобильного транспорта традиционными видами топлива (бензин, дизель) и не могут быть применены для транспорта на КПГ, т. к. не учитывают особенности потребителей, повышенные требования к безопасности и нормативно-технической документации, особенности транспортировки газа.

Следствием этого является потребность обоснования и введения в математические модели размещения заправочных станций дополнительных условий, учитывающих характеристики потребителей КПГ. А для применения скорректированных моделей требуется разработка алгоритмов, которые при обосновании места размещения АГНКС учитывали бы дополнительные ограничения, связанные с производственной безопасностью и особенностями планировочных решений населенного пункта.

Таким образом, разработка методики обоснования региональной инфраструктуры АГНКС является актуальной задачей, решение которой позволит обеспечить рациональность размещения и экономическую эффективность их работы.

Актуальность разработки инструмента, позволяющего обосновывать параметры данной инфраструктуры также подтверждается принятием ряда нормативных актов (Распоряжения Правительства РФ № 767-р и «Программы внедрения газомоторного топлива в автотранспортном

комплексе Санкт-Петербурга на 2014-2023 годы» № 52 –РП), в которых определены показатели внедрения КПП на автомобильном транспорте. Эффективная эксплуатация постоянно увеличивающегося количества транспортных средств, использующих в качестве топлива КПП, без обремененной региональной инфраструктуры АГНКС невозможна.

Степень разработанности темы исследования. Можно выделить следующих авторов, работающих в направлении связанном с использованием газобаллонных автомобилей (ГБА), ГМТ и эксплуатацией АГНКС: Бушуева П. В., Володина В. В., Евстифеева А. А., Иванова А. С., Капустина А. А., Картошкина А. П., Коклина И. М., Коноплева В. Н., Кондаурова С. Ю., Котикова Ю. Г., Люгай С. В., Маленкину И. Ф., Пенкина А. Л., Ровнера Г. М., Скосарь Ю. Г., Чебоксарова В. И. Однако то, что тенденция интенсивного внедрения в качестве топлива для автотранспортных средств КПП появилась сравнительно недавно, является причиной того, что в указанных исследованиях тема данного диссертационного исследования не нашла отражения. Анализ показал отсутствие в настоящее время работ и научно обоснованной методики формирования региональной инфраструктуры АГНКС, обеспечивающей заправку машин КПП.

Цель диссертационного исследования. Разработать методику обоснования региональной инфраструктуры АГНКС в городах (на примере Санкт – Петербурга) способную обеспечить эффективную эксплуатацию и функционирование автотранспортных средств, минимизацию плеч заправок и снижение непроизводительных пробегов, что позволит обеспечить поэтапный перевод работы подвижного состава на ГМТ, развитие инфраструктуры перевозочного процесса и объектов дорожного сервиса в целом, а также снижение материальных и экологических издержек, связанных с эксплуатацией автомобильного транспорта.

Объект исследования – инфраструктура АГНКС Санкт-Петербурга.

Предмет исследования – методика обоснования региональной инфраструктуры АГНКС в городах (на примере Санкт-Петербурга).

Задачи исследования:

1. Обосновать факторы, влияющие на показатели эффективности перехода работы автомобильного транспорта на ГМТ, выполнить их экспертную оценку и ранжирование по уровню приоритета и значимости в направлении исследования, а также установить интегральный критерий (условия) для формирования оптимальной инфраструктуры АГНКС СПб.

2. На основе анализа исходных данных, определить тренд минимального и максимального среднесуточного потребления ГМТ и спрогнозировать развитие газомоторного рынка Санкт-Петербурга до 2023 года.

3. Определить потребное число АГНКС с учётом их характеристик, что позволит обосновать рациональное количество станций заправки и темп ввода их в строй, с учётом объёмов инвестиционных вложений в их строительство.

4. Разработать математические модели региональной инфраструктуры АГНКС СПб, соответствующие алгоритмы формирования

и выполнить моделирование с целью определения её состава, содержания и параметров функционирования в пространстве и времени для эффективной эксплуатации подвижного состава АТП, минимизации плеч заправок и снижения непроизводительных пробегов.

5. Разработать методику обоснования инфраструктуры АГНКС, как совокупности научных подходов и методов, объединяющих частные решения перечисленных задач, функционально связанных общей целью диссертационного исследования, что создаст условия для обоснованного планирования развития газозаправочной инфраструктуры с учётом территориального фактора и синхронизации сроков ввода в эксплуатацию АГНКС и газомоторной автомобильной техники.

6. Оценить эффективность предложенных рекомендаций.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Обоснованы факторы, влияющие на перевод работы автомобильного транспорта на ГМТ.

2. Произведён анализ развития газомоторного рынка СПб на основе регрессионной модели суточного потребления автотранспортом ГМТ.

3. Определено альтернативное число АГНКС по их параметрическим характеристикам.

4. Разработаны математические модели и алгоритмы формирования инфраструктуры АГНКС, учитывающие характерные параметры сети потребителей ГМТ и самих АГНКС.

5. Разработана методика обоснования инфраструктуры АГНКС, учитывающая особенности планировочных решений городов.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке методики обоснования инфраструктуры АГНКС, позволяющей представить и оценить её состав, содержание, возможности и функционирование в пространстве и во времени.

Практическая значимость. Использование разработанных в диссертационном исследовании математических моделей и алгоритмов, а также определения числа заправочных станций и методики обоснования инфраструктуры АГНКС позволит:

1. Обеспечить успешное решение концептуальной и востребованной задачи и создать условия по поэтапному переводу работы АТ на ГМТ.

2. Провести реконструкцию производственно – технической базы автосервиса для выполнения работ по диагностированию, техническому обслуживанию и ремонту соответствующего подвижного состава.

3. Снизить материальные и экологические издержки при работе автомобильного транспорта, что в целом повысит эффективность его эксплуатации.

4. Разработанная методика обоснования инфраструктуры АГНКС является универсальной и её можно трансформировать для решения аналогичных задач в других регионах РФ, применительно к условиям конкретного населённого пункта.

Методы исследования. Методологической основой для решения задач диссертационного исследования является системный подход, при рассмотрении сложного объекта (инфраструктуры АГНКС), как целостного множества взаимосвязанных элементов, при использовании метода экспертных оценок, теорий вероятности и массового обслуживания, линейного и нелинейного динамического программирования, метода нахождения «центра масс», корреляционно – регрессионного анализа, статистической обработки данных, математического моделирования объекта исследования, итерационного метода поиска оптимальной инфраструктуры АГНКС и анализе полученного эффекта от результатов изыскания.

Положения, выносимые на защиту:

– обоснование состава факторов, влияющих на перевод работы АТ на ГМТ, результаты их экспертной оценки по ранжированию, значимости и приоритету;

– результаты анализа перспективного развития газомоторного рынка СПб;

– определение альтернативного числа АГНКС по их параметрическим характеристикам;

– математические модели и результаты вычислительного эксперимента по формированию инфраструктуры АГНКС СПб;

– методика обоснования оптимальной инфраструктуры АГНКС.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта, п. 14 «Развитие инфраструктуры перевозочного процесса, технической эксплуатации и сервиса».

Степень достоверности научных положений и результатов базируется на всестороннем анализе научно-исследовательских работ по предмету исследования, применении апробированного научно-методического аппарата и обусловлена использованием аналитических методов для математического описания исследуемого процесса, методов экспертной оценки, компьютерных методик, средств автоматизированного учёта, статистических методов обработки информации, корреляционно-регрессионного анализа, итерационного метода, математического моделирования, выполнением вычислительного эксперимента и сходимостью теоретических и экспериментальных данных.

Апробация работы. Результаты исследования используются для решения вопросов производственной деятельности ООО «Газпром газомоторное топливо», СПб ГУП «Пассажиравтотранс» и Комитетом по транспорту Санкт-Петербурга, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Теоретические положения и результаты работы используются в учебном процессе СПбГАСУ по направлению подготовки кадров высшей квалификации 23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта» (научная специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта») на кафедре «Технической эксплуатации

транспортных средств» и в лекционном материале по подготовке бакалавров по направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на научно – практических конференциях: 70-й научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 7–9 октября 2014 г.); III-м международном конгрессе «Актуальные проблемы современного строительства» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 9–11 апреля 2014 г.); международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и докторантов «Актуальные проблемы безопасности дорожного движения» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 09–11 апреля 2014 г.); X-й межвузовской научной конференции «Развитие транспорта – основа прогресса экономики России» (Санкт-Петербург, СПбГЭУ, 19–20 марта 2015 г.); международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, ТюмГНГУ, 16 апреля 2015 г.); 71-й конференции профессорско-преподавательского состава (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 7–9 октября 2015 г.); международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы» (Тюмень, ТюмГНГУ, 14 апреля 2016 г.); 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Актуальные проблемы современного строительства» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 4–6 апреля 2018 года).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 8 статей в научном журнале, включённом в перечень ведущих рецензируемых научных изданий, утверждённых ВАК РФ и 6 публикаций в Материалах научно-практических конференций.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержит 216 страниц машинописного текста, 36 таблиц, 53 рисунка, 79 формул, 8 приложений и список использованной литературы из 130 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы её цели и задачи, отражена научная новизна полученных результатов, положения, выносимые на защиту, апробация и практическая значимость работы.

В первой главе представлен анализ состояния и тенденции развития газомоторного транспорта, подчеркнута актуальность перевода работы автомобилей на КПП и выделен ряд вопросов, препятствующих развитию данного направления, показаны пути их решения. Обоснована необходимость превентивной разработки инфраструктуры АГНКС, так как развитие рынка ГМТ является комплексной задачей, но в первую очередь, представляет инфраструктурный проект по разработке и созданию развитой сети АГНКС и процесс её формирования должен опережать спрос на КПП.

При решении задачи по формированию инфраструктуры АГНКС показаны особенности её функционирования, и прежде всего, как системы массового обслуживания (СМО), которая характеризуется изменяющимися в пространстве и времени параметрами. Выполнен анализ характеристик существующей инфраструктуры АГНКС СПб, который показал её крайнюю недостаточность по числу заправочных станций, значительную асимметрию и вариацию их дислокации относительно основных потребителей КПП, низкие производственные возможности, большие плечи пробегов автомобилей до АГНКС и связанные с этим издержки (на примере автобусных парков ГУП «Пассажиравтотранс»).

Сделаны выводы, что введение в эксплуатацию разветвленной и многоканальной сети АГНКС является востребованной, перспективной и эффективной научно-практической задачей.

Проведён анализ существующих научных работ в области использования ГМТ и эксплуатации АГНКС. Он показал недостаточный уровень исследований по вопросам формирования оптимальной инфраструктуры АГНКС и необходимость разработки соответствующей методики.

Вторая глава посвящена теоретическим предпосылкам развития и формирования оптимальной инфраструктуры АГНКС (на примере Санкт-Петербурга). С привлечением квалифицированных специалистов была проведена экспертная оценка факторов, влияющих на перевод работы АТ на ГМТ, их ранжирование по уровню приоритета и значимости. Определен наиболее существенный из них – наличие инфраструктуры АГНКС (F1). Подтверждена репрезентативность результатов экспертной оценки и представлено уравнение множественной регрессии, показывающее функциональную зависимость между результирующим фактором (F1) и остальными в аналитической и графической интерпретации.

Создан массив исходных данных, включающий состав и дислокацию основных потребителей ГМТ, численность и категории ГБА, их среднесуточный пробег, характеристики заправочных ёмкостей, среднее время на заправку ГМТ, стоимость строительства АГНКС и т. д. При этом учитывались динамика увеличения парка ГБА с перспективой до 2023 г.

Составлено уравнение регрессии, по которому была спрогнозирована среднесуточная потребность АТ в ГМТ до 2023 г., определены тренд и объёмы его максимального и минимального потребления, что позволило рассчитать необходимое потенциальное число АГНКС и их производственные возможности.

Обоснован и определен интегральный критерий формирования и функционирования оптимальной инфраструктуры АГНКС.

В третьей главе разработана методика обоснования инфраструктуры АГНКС в городах. Она представляет собой обоснование и применение научных подходов и методов пошагового решения задач исследования в виде соответствующего алгоритма действий. Реализация данной методики позволит решить востребованную научно-практическую задачу по переводу работы АТС на ГМТ, а её концептуальный характер является универсальным и может быть распространён на другие регионы РФ.

Разработаны математические модели инфраструктуры АГНКС СПб и соответствующие алгоритмы её формирования («А», «В», «С»). Выполнен вычислительный эксперимент. По полученным результатам найдено оптимальное её решение. Построены пространственные географические модели инфраструктуры АГНКС с наложением их на карту СПб и с привязкой к КАД.

В четвёртой главе представлена оценка эффективности предложенных рекомендаций. Произведён анализ характеристик АГНКС, принципов их работы и управления технологическим процессом. На основании нормативных документов сформулированы требования по безопасной заправке КПП.

Дана дифференцированная оценка и показан соответствующий экономический эффект от функционирования инфраструктуры АГНКС СПб за счёт сокращения издержек, связанных с эксплуатацией автомобильного транспорта на ГМТ.

II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Обоснованы факторы, влияющие на перевод работы автомобильного транспорта на ГМТ, проведена их экспертная оценка и ранжирование по уровню их приоритета и значимости

С привлечением профильных специалистов была проведена экспертная оценка факторов, влияющих на перевод работы АТ на ГМТ. Экспертная группа состояла из докторов и кандидатов технических наук, а также руководящих работников предприятий Санкт-Петербурга, непосредственно участвующих во внедрении в эксплуатацию газомоторной техники.

Процедура экспертной оценки преследовала решение следующих задач: определения интегрального числа возможных факторов F_i , влияющих на перевод работы АТ на ГМТ; их дифференцирование, т. е. ранжирование по степени приоритета и значимости в рамках данного исследования; выявления и описание корреляционной зависимости между ними в аналитической форме; оценки согласованности полученных результатов.

Был определён интегральный ряд факторов, влияющих на перевод работы АТ на ГМТ, в состав которых, вошли: F1 – наличие инфраструктуры АГНКС для заправки подвижного состава ГМТ; F2 – производственные возможности инфраструктуры АГНКС по удовлетворению потенциального потока заявок потребителей на ГМТ; F3 – наличие соответствующего квалифицированного персонала по ТО и ремонту ГБА; F4 – наличие необходимой нормативно-технической документации; F5 – особенности выполнения операций по техническому обслуживанию и ремонту ГБА; F6 – соответствие производственно-технической базы автотранспортного предприятия эксплуатации ГБА; F7 – обеспечение безопасности работ по ТО и ремонту ГБА и охрана труда.

Проведено ранжирование указанных факторов по уровню приоритета и значимости (по 10-и бальной шкале) и установлены наиболее

существенные из них – наличие инфраструктуры АГНКС (F1) и её производственные возможности по удовлетворению потенциального потока заявок потребителей на ГМТ (F2) (табл.1).

Таблица 1 – Ранжирование факторов по оценке экспертов (по 10-ти бальной шкале)

Экс-ты / Фак-ры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ
F1	4	3,5	4,5	3,8	3,6	3	3,5	3	4,5	3,5	36,9
F2	3	3	2,2	3,2	2,8	3	2,5	3	3,2	3,5	29,4

Репрезентативность мнений экспертов по отношению к фактору F1 и его корреляционная зависимость между F2 – F7 подтверждена уравнением множественной линейной регрессии, с помощью ранговых коэффициентов Спирмена и Кендалла.

На рис. 1 приведена динамика варьирования значений F1 относительно факторов F2 – F7.



Рисунок 1 – Динамика варьирования значений фактора F1 относительно факторов F2 – F7

Сделан вывод, что наиболее значимым фактором, влияющим на перевод работы АТ на ГМТ, является наличие инфраструктуры АГНКС.

2. Результаты анализа перспективного развития газомоторного рынка Санкт–Петербурга

На основе массива исходных данных, по составу основных потребителей ГМТ, численности и категорий их автомобильного парка, среднесуточных пробегах, а также в соответствии с «Программой внедрения ГМТ в автотранспортном комплексе СПб» спрогнозирована потенциальная среднесуточная потребность заявителей в ГМТ до 2023 г. и определён тренд минимального и максимального потребления ГМТ. Выведено уравнение регрессии по динамике среднесуточных объёмов его потребления V для разных лет Y_i в виде следующей зависимости:

$$V = b_0 + b_1 Y_i, \quad (1)$$

где V – суточный объём ($\text{м}^3/\text{сут}$) потребления ГМТ всеми ГБА в течение i года Y ; $Y_i = 2014, 2015, \dots, 2023$ г.; b_0 и b_1 – коэффициенты уравнения регрессии, показывающие динамику изменения объёма потребления ГМТ в период с 2014 по 2023 гг.; коэффициент b_0 – характеризует среднее потребление ГМТ в 2014 году; b_1 – показывает прирост потребления ГМТ в среднем за год. Здесь V – отклик, а Y – фактор.

Согласно уравнению (1) построена линия тренда для минимального и максимального среднесуточного потребления ГМТ на период 2014–2023 гг. (рис. 2, 3).

Где R^2 – коэффициент детерминации, который является универсальным показателем степени тесноты статистической связи.

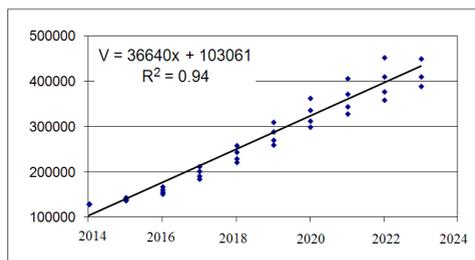


Рисунок 2 — Прогноз минимального потребления ГМТ, $\text{м}^3/\text{сут}$

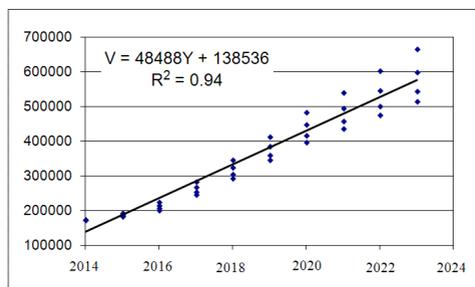


Рисунок 3 — Прогноз максимального потребления ГМТ, $\text{м}^3/\text{сут}$

Результаты прогноза по расходу ГМТ позволяют в дальнейшем с доверительной точностью определить необходимые производственные мощности перспективной инфраструктуры АГНКС СПб до 2023 года.

3. Определено альтернативное число АГНКС по характеристикам, к которым относятся:

1. Объёмы среднесуточного потребления ГМТ.
2. Суммарное время (продолжительность) заправки ГБА.
3. Величина рациональных инвестиционных вложений в сооружение АГНКС.

1. Число АГНКС (N_p) по объёму среднесуточного потребления ГМТ – $V [\text{м}^3]$, оценивалось по следующей зависимости

$$N_v = V/W, \quad (2)$$

где W – производственные возможности АГНКС.

Результаты выполненных расчётов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Объём среднесуточного потребления ГМТ и необходимое число АГНКС (1,2,3,4 – числовая индексация АГНКС)

Год	Суточное потребление V , м ³		Число АГНКС N_v			
	При min среднесуточном пробеге АТ	При max среднесуточном пробеге АТ	Больших (1)	Средних (2)	Малых на 4 поста (3)	Малых на 2 поста (4)
2014	25161	32151	1	2	2 – 3	4 – 5
2015	31460	40190	1 – 2	2	3	5 – 6
2016	44787	57247	2	3	4	7 – 8
2017	77723	100518	3	4 – 5	6 – 7	11 – 14
2018	112666	146621	4 – 5	6 – 7	8 – 11	16 – 21
2019	150418	196668	5 – 6	7 – 10	11 – 14	21 – 28
2020	189047	247952	6 – 7	9 – 12	14 – 18	27 – 35
2021	216482	283817	7 – 8	11 – 14	16 – 20	31 – 40
2022	245443	321638	7 – 9	12 – 15	17 – 23	35 – 45
2023	274696	359831	8 – 10	13 – 17	20 – 25	39 – 50

2. Число АГНКС (N_T) по «показателю суммарного времени заправки» ГБА (T) определялось по выражению

$$N_T = T/24 \text{ при } T = \sum n * t * m \quad (3,4)$$

где n – количество ГБА; t – время заправки одного автомобиля рассматриваемого типа; m – число раздаточных постов на одной АГНКС; 24 (час).

Полученные результаты расчётов N_T приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Количество АГНКС по критерию суммарного времени заправки

Год	Количество АГНКС - N_T			
	больших АГНКС (при min среднесуточном пробеге АТ)	больших АГНКС (при max среднесуточном пробеге АТ)	средних АГНКС (при min среднесуточном пробеге АТ)	средних АГНКС (при max среднесуточном пробеге АТ)
2014	1	1	1	1
2015	1	1	1	1
2016	1	1	1	1
2017	1	2	2	2
2018	2	3	3	3
2019	3	4	4	4
2020	3	5	5	5
2021	4	6	6	6
2022	4	6	7	7
2023	5	7	7	7

Из сопоставления табл. 2, 3 следует, что ограничение по суммарному времени заправки является существенно более «мягким», а критичным оказывается способность АГНКС удовлетворить среднесуточные объёмы потребления ГМТ. Это дало возможность в дальнейшем определить ориентиры по приоритету строительства больших и особенно средних АГНКС относительно малых.

3. Решена задача линейной оптимизации по определению числа вводимых в эксплуатацию АГНКС по величине рациональных инвестиционных вложений в их сооружение f , исходя из следующего выражения

$$f = \sum_{i=1}^4 c_i N_i \rightarrow \min, \quad (5)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^4 N_i W_i \geq V, \quad 24 \sum_{i=1}^4 N_i m_i \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) \geq K_1 + K_2, \quad (6, 7)$$

где $i = 1, 2, 3, 4$ – номера соответствующие числовой индексации больших, средних и двух малых типов АГНКС (табл. 4); N_i – количество АГНКС i -го типа; c_i – стоимость АГНКС; W_i – производственные возможности АГНКС i -го типа; m_i – число раздаточных постов на АГНКС i -го типа; V – среднесуточное потребление ГМТ всеми ГБА; K_1 и K_2 – количество ежедневно заправляемых ГБА (грузовых машин и автобусов); t_1 и t_2 – продолжительность заправки одного грузовика и автобуса соответственно; $24/t_{1,2}$ – число грузовиков (1) и автобусов (2) соответственно, которые могут быть заправлены за сутки на одной АГНКС i -го типа; $24/t_{1,2} \sum N_i m_i$ – суммарное количество ГБА, которое может быть заправлено топливом на всех АГНКС i -го типа за сутки.

Здесь левая часть ограничения (6) – суммарная суточная производительность АГНКС по раздаче ГМТ, а левая часть ограничения (7) – среднесуточная пропускная способность АГНКС.

Результаты решения задачи определения величины рациональных инвестиционных вложений в сооружение АГНКС для $N_i = 1-4$ (т. е. для ввода АГНКС большого, среднего и двух малых типов (табл. 4)), а также для случая $N_i = 2-4$ (для строительства АГНКС только среднего и двух малых типов (табл. 5)) приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4 – Динамика ввода в строй АГНКС по оценке инвестиционных вложений – f , млн руб.

Год	Минимальная оценка стоимости					Максимальная оценка стоимости				
	N_1	N_2	N_3	N_4	f	N_1	N_2	N_3	N_4	f
2017	1	3	0	0	420	3	0	0	0	480
2018	3	2	0	0	630	3	2	0	0	700
2019	5	1	0	0	840	5	1	0	0	910
2020	7	0	0	0	1050	7	0	0	0	1120
2021	8	0	0	0	1200	8	0	0	0	1280
2022	9	0	0	0	1350	9	0	0	0	1440
2023	10	0	0	0	1500	10	0	0	0	1600

Анализ табл. 4 показывает, что начиная с 2020 года, с точки зрения экономической целесообразности, следует сооружать и вводить в строй только АГНКС большого типа – N_1 . Однако использование больших АГНКС связано с целым рядом недостатков, наиболее существенным из которых является их большая площадь, нехватка свободных площадей под застройку и значительная налоговая нагрузка.

Поэтому задачу оптимизации по числу необходимых АГНКС, исходя из величины рациональных инвестиций, целесообразно решить и для случая, когда рассматривается строительство только средних (N_2) и двух типов малых АГНКС (N_3 и N_4). Результаты соответствующих расчётов приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Оптимальная динамика ввода в строй средних и малых АГНКС по оценке инвестиционных вложений – f млн руб.

	Минимальная оценка стоимости				Максимальная оценка стоимости			
	N_2	N_3	N_4	f	N_2	N_3	N_4	f
2017	4	1	0	430	4	1	0	520
2018	7	0	0	630	7	0	0	770
2019	8	2	0	860	8	2	0	1040
2020	12	0	0	1080	12	0	0	1320
2021	13	1	0	1240	13	1	0	1510
2022	15	0	0	1350	15	0	0	1650
2023	17	0	0	1530	17	0	0	1870

Анализ табл. 5 показывает, что, в основном, число АГНКС, характеризующееся минимальной стоимостью строительства и удовлетворяющее спросу по суточному потреблению ГМТ, определяется только станциями среднего типа N_2 .

Сопоставление данных табл. 4 и 5 даёт возможность будущим инвесторам принять наиболее рациональное решение по вложению средств на проектирование и строительство соответствующих АГНКС.

4. Разработаны математические модели и выполнен вычислительный эксперимент по формированию инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга

С учётом интегрального критерия, включающего следующие показатели, при которых инфраструктура АГНКС:

1. должна полностью удовлетворять потребностям заявителей в ГМТ (в том числе транзитного транспорта);
2. минимизировать плечи заправок ГМТ;
3. обеспечивать безопасную эксплуатацию АГНКС;
4. создаваться вблизи сетевых газопроводов с необходимой пропускной способностью;
5. обладать удобными подъездными путями;
6. соответствовать величине рациональных инвестиционных вложений при её создании и вводе в строй,

Были разработаны математические модели формирования инфраструктуры АГНКС (типа «А», «В», «С»), которые позволяют представить её состав, характеристики и функционирование в пространстве и времени.

В моделях «А», «В» и «С» необходимое количество АГНКС и их дислокация, с учётом минимизации плеч заправки, рассчитывались по числу ГБА у каждого из потребителей ГМТ, объемам потребления ГМТ и продолжительности заправки ГБА. При этом, определялись производственные возможности каждой АГНКС с привязкой к ней конкретных потенциальных потребителей ГМТ и находился так называемый «центр масс» или географические координаты наиболее оптимального расположения АГНКС.

На первом шаге было произведено моделирование инфраструктуры АГНКС по модели «А». По адресам базирования потребителей ГМТ и расположения АГНКС были найдены географические координаты их дислокации (широты φ_i и долготы ψ_i). Применяя формулы перехода от сферической системы координат к декартовой, были определены их декартовы координаты.

На начальном (нулевом) шаге, по координатам (x_i, y_i) находились ближайшие, к имеющейся АГНКС-1 потребители ГМТ, запросы которых могли быть удовлетворены суточной пропускной способностью данной АГНКС и строился граф минимального плеча пробега до заправки ГБА. Затем этот алгоритм, называемый итерацией (т. е. перераспределение заправки потребителей ГМТ на другие станции) повторялся i -е число раз для каждого оставшегося потребителя ГМТ. Далее для оставшихся потребителей решалась нелинейная задача безусловной оптимизации, в рамках которой находились координаты новой станции j , исходя из минимального плеча пробега до заправки, с учётом численности ГБА у каждого потребителя.

Рис. 4 поясняет схему формирования инфраструктуры АГНКС по модели «А». По всей совокупности потребителей вычисляется «центр масс» – F , куда помещается АГНКС-1 (точка-1). Затем выявляются ближайшие к ней потребители. После того, как производительность АГНКС-1 будет исчерпана, ближайшие потребители, входящие в круг-1, из дальнейшего рассмотрения удаляются.

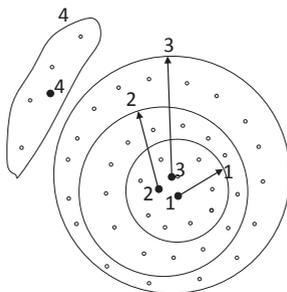


Рисунок 4 – Схема расстановки АГНКС по модели «А». Цифрами обозначены условные АГНКС; \circ — области «притяжения» потребителей ГМТ

Далее аналогично вычисляется «цент масс» для оставшихся потребителей (круг-2, круг-3 и т. д), куда помещается АГНКС-2, АГНКС-3 и т. д. Ряд периферийных потребителей ГМТ может быть распределён ассиметрично (область-4).

Математическая модель инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «А» представлена системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 F &= \sum_i ((x_i - x(j))^2 + (y_i - y(j))^2) N_i \rightarrow \min, \\
 x_i &= R_0 \cos(\phi_i \frac{\pi}{180^\circ}) \cos(\psi_i \frac{\pi}{180^\circ}), \\
 y_i &= R_0 \cos(\phi_i \frac{\pi}{180^\circ}) \sin(\psi_i \frac{\pi}{180^\circ}). \\
 V &= \sum_i V_i N_i, \quad T = \sum_i T_i N_i
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

где F – «центр массы» потребителей ГМТ по числу ГБА; $x(j)$ и $y(j)$ – известные координаты АГНКС; x_j и y_j – известные координаты потребителя; N_i – количество ГБА у каждого потребителя; V – суммарный объём ГМТ у всех потребителей; V_i – объём ГМТ у i -го потребителя; N_i – количество ГБА у i -го потребителя; T – суммарное время заправки всеми потребителями ГМТ; T_i – время заправки i -го потребителя; ϕ_i и ψ_i – широты и долготы рассматриваемых объектов в градусах; x_i и y_i – их декартовы координаты (км); R_0 – средний радиус Земли (6371 км).

Разработан соответствующий алгоритм моделирования инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «А», который использовался при проведении вычислительного эксперимента.

Географическая модель инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «А» представлена на рис. 5.

Таким образом, модель «А» обеспечивает в полной мере удовлетворение суточных потребностей заявителей в ГМТ и в среднем минимальное плечо заправки для всей совокупности потребителей, хотя, для отдельных из них, это плечо может оказаться достаточно большим. Анализ полученной географической модели инфраструктуры АГНКС по варианту «А» (рис. 5) показал, что значительная часть АГНКС попадает в центр СПб. Такое расположение требует обособленных площадей для их возведения, что является проблематичным по изысканию соответствующих свободных участков.

Как следствие, был рассмотрен такой вариант формирования инфраструктуры АГНКС, в котором было произведено районирование территории СПб на кластеры и выбирались потребители ГМТ наиболее удалённые от центра города (модель «В»).

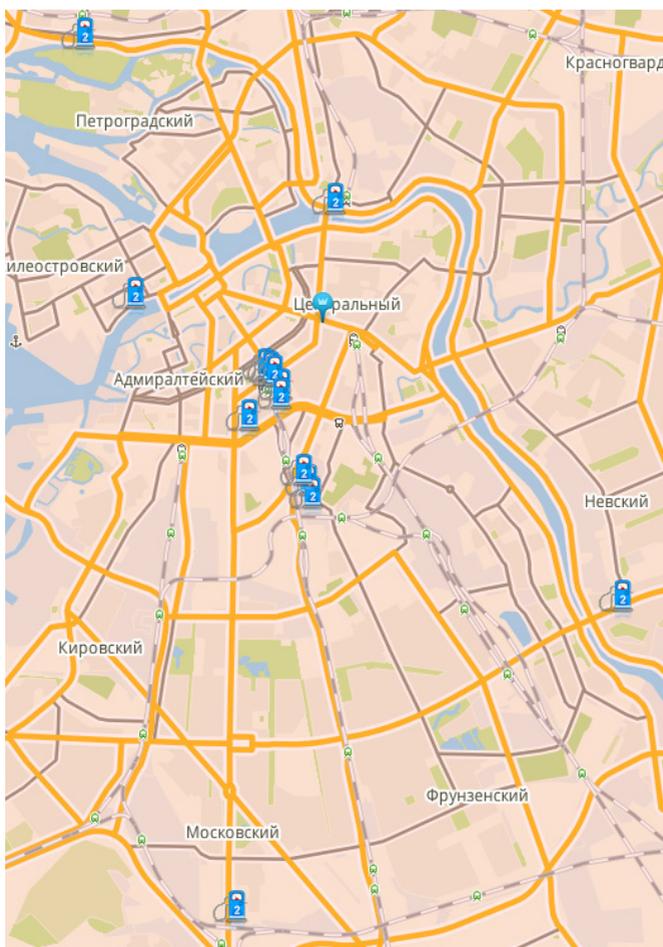


Рисунок 5 – Географическая модель инфраструктуры АГНКС СПб (вариант «А»)

Территория СПб условно делилась на 17 кластеров. Затем выбирался потребитель (P_1), оценивался необходимый ему объём ГМТ и суммарное время заправки. Потом аналогично определялся ближайший к нему другой потребитель (P_2) и определялся «центр масс», в котором находилась будущая АГНКС. В данной модели АГНКС находится в «центре масс» и потребители определяются по минимальному плечу заправки, а их число соответствует производительности станции и суммарной продолжительности заправки. Таким способом, получаем два первых кластера потребителей ГМТ вокруг АГНКС-1 и АГНКС-2. Подобный алгоритм действия повторяется по всем остальным кластерам.

Математическая модель инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «В» представлена системой уравнений:

$$\begin{aligned}
 & V_1 = N_1 v_1, \\
 & T_1 = N_1 t_1, \\
 & \min_k \{d_{1k}\}, \quad d_{1k} = \sqrt{(x_1 - x_k)^2 + (y_1 - y_k)^2}, \\
 & X_1 = \sum_{i=1}^2 x_i N_i, \quad Y_1 = \sum_{i=1}^2 y_i N_i, \\
 & \min_k \{d_{2k}\}, \quad d_{2k} = \sqrt{(X_1 - x_k)^2 + (Y_1 - y_k)^2}, \\
 & X_2 = \sum_{i=1}^3 x_i N_i, \quad Y_2 = \sum_{i=1}^3 y_i N_i, \\
 & V = \sum_i V_i N_i, \quad T = \sum_i T_i N_i
 \end{aligned} \tag{9}$$

где V_1 – необходимый для заправки суммарный объём ГМТ (у первого потребителя); N_1 – количество ТС (у первого потребителя); v_1 – объём заправки одного ГБА; t_1 – время заправки одного ГБА; T_1 – суммарное время заправки у первого потребителя; x_1, y_1 – координаты потребителя P_1 ; x_k, y_k – координаты потребителя P_k ; X_1 и Y_1 – координаты центра масс; $\min_k \{d_{1k}\}$ – минимальное расстояние пробега k -го потребителя ГМТ до АГНКС; V – суммарный объём ГМТ у всех потребителей; V_i – объём ГМТ у i -го потребителя; N_i – ГБА количество ГБА у i -го потребителя; T – суммарное время заправки всеми потребителями ГМТ; T_i – время заправки i -го потребителя.

Разработан соответствующий алгоритм моделирования инфраструктуры АГНКС по варианту «В», который был реализован при проведении вычислительного эксперимента.

Прогнозируемая географическая модель инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «В» представлена на рис. 6.

Таким образом, модель «В» является наиболее совершенным вариантом формирования инфраструктуры АГНКС применительно к Санкт-Петербургу, обеспечивая в полной мере удовлетворение суточных потребностей заявителей в ГМТ и минимизирует плечи пробега до заправки ГБА.

В соответствии со «Стратегией социально-экономического развития Санкт-Петербурга до 2030 года» и «Концепцией комплексного развития

территорий Ленинградской области, прилегающих к границам СПб до 2025 года» зонами первоочередного развития являются территории, расположенные в непосредственной близости от кольцевой автодороги (КАД). В этих зонах будут созданы территории комплексного развития (ТКР) и транспортно-пересадочные узлы по приоритетным транспортным коридорам.

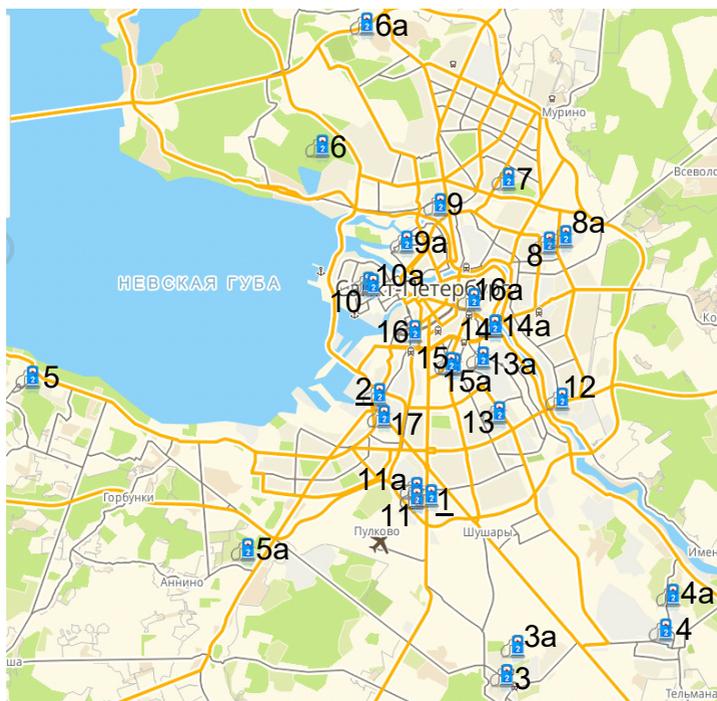


Рисунок 6 — Географическая модель прогнозируемой инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга по варианту «В» (1,1а...17 – кластеры и входящие в них АГНКС)

На основании изложенного, для удовлетворения потребностей в ГМТ всей совокупности заявителей, а также транзитного автотранспорта, расположим инфраструктуру АГНКС в окрестностях КАД, используя имеющиеся с неё съезды. С этой целью предложен вариант формирования инфраструктуры АГНКС СПб по модели «С».

В данной модели станции заправки ГМТ были гипотетически представлены вдоль КАД на 26 – существующих съездах и учтены потоки транзитных автотранспортных средств. В качестве переменных приняты объёмы суточного потребления КПП i -м потребителем на j -й АГНКС (v_{ij}). При этом, каждый потребитель имеет возможность на ближайшей к нему АГНКС полностью удовлетворить потребность в ГМТ всех

своих ГБА. Необходимое количество АГНКС на каждом рассматриваемом съезде КАД определялось с учётом объемов суточного потребления ГМТ всеми заявителями, временем заправки и производственными возможностями АГНКС.

Тогда математическая модель инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга по варианту «С» представлена системой уравнений:

$$\sum_{j=1}^{26} v_{ij} = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, 54,$$

где $v_{ij} = n_{ij} v_{0i}$,

$$f_{ij'} = \min \sqrt{(x_i - ax_j)^2 + (y_i - ay_j)^2},$$

$j \in 1, 2 \dots, 26$
 $i \in 1, 2 \dots, 54$

$$V_j = \sum_{i'} n_{i'} \cdot v_{0i'}$$

$$T_j = \sum_{i'} n_{i'} t_{i'}$$
(10)

где $j = 1, 2, \dots, 26$ (число съездов КАД); b_i – число потребителей КПП, т. е. пункты назначения $i = 1, 2, \dots, 54$; n_{ij} – количество ГБА i -го потребителя, заправающегося на j -й АГНКС; v_{0i} – суточный объём используемого КПП одним ГБА i -го потребителя; V_j – объём суточного потребления ГМТ всеми потребителями; $f_{ij'}$ – пробег каждого потребителя b_i к какой-либо j -й АГНКС; x_i и y_i – декартовы координаты потребителей b_i ; ax_j и ay_j – декартовы координаты j -й АГНКС; $t_{i'}$ – время заправки КПП одного ГБА i -го потребителя; T_j – полное время работы АГНКС.

В результате из возможных 26-ти точек локализации АГНКС, оптимальными по критерию «минимального плеча» пробега ГБА до заправки, являются 15.

Предполагается, что АГНКС целесообразно устанавливать с двух сторон КАД, т. е. в направлениях «в город» и, соответственно, «из города». Это максимально обеспечит потребности КПП для ГБА, не создавая очередей на заправку.

Вычислительный эксперимент по варианту «С» выполнен на основе математического анализа с применением программы Excel. Был создан макрос, который позволял последовательно находить очередной локальный минимум размещения АГНКС по плечу пробега ГБА до ближайшего съезда с КАД и разработан соответствующий алгоритм моделирования инфраструктуры АГНКС по варианту «С».

Географическая модель инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «С» представлена на рис. 7.



Рисунок 7 — Географическая модель инфраструктуры АГНКС – Съезды с КАД, Б – Большая АГНКС (9), С – Средняя АГНКС (15), М – Малая АГНКС (7)

По своему назначению и характеру модели формирования инфраструктуры АГНКС являются универсальными и в зависимости от реальной ситуации в каждом из населённых пунктов, могут быть использованы в вариантах «А», «В» и «С», либо трансформированы в различных их сочетаниях, а при необходимости с применением передвижных автомобильных газовых заправщиков (ПАГЗ).

Таким образом, вычислительный эксперимент дал возможность всесторонне оценить характеристики математических моделей инфраструктуры АГНКС, изучить взаимодействие её элементов и воздействие на них внешних факторов, выявить особенности функционирования сети АГНКС и определить пути по её совершенствованию, получить новую информацию, изучить и принять во внимание вероятные ситуации, которые могут возникнуть в будущем. Учитывая тенденцию увеличения парка газомоторных автомобилей, при сопоставлении результатов вычислений сделаны выводы, что введение многоканальной и, тем более, разветвленной сети АГНКС СПб является весьма перспективной и эффективной задачей.

5. Разработана методика обоснования инфраструктуры АГНКС в городах

Методика создана на основе научных подходов и методов пошагового решения задач.

Детальное описание содержания каждого из блоков данного алгоритма дано по тексту диссертационного исследования.

Следует отметить, что задача моделирования инфраструктуры АГНКС решалась в общем виде, так как целью являлась разработка универсальной методики, позволяющей принимать решения при обосновании параметров инфраструктуры АГНКС в различных регионах (населённых пунктах). В связи с этим, в контексте данного решения формализация учёта конкретных параметров улично-дорожной сети крайне затруднена. Необходимость данного учёта отражена в блоке № 10 – предполагается, что при решении задачи для конкретного региона (населённого пункта), параметры улично-дорожной сети будут непосредственно учтены при формировании итогового решения.

Соответствующий алгоритм действий представлен на рис.8.

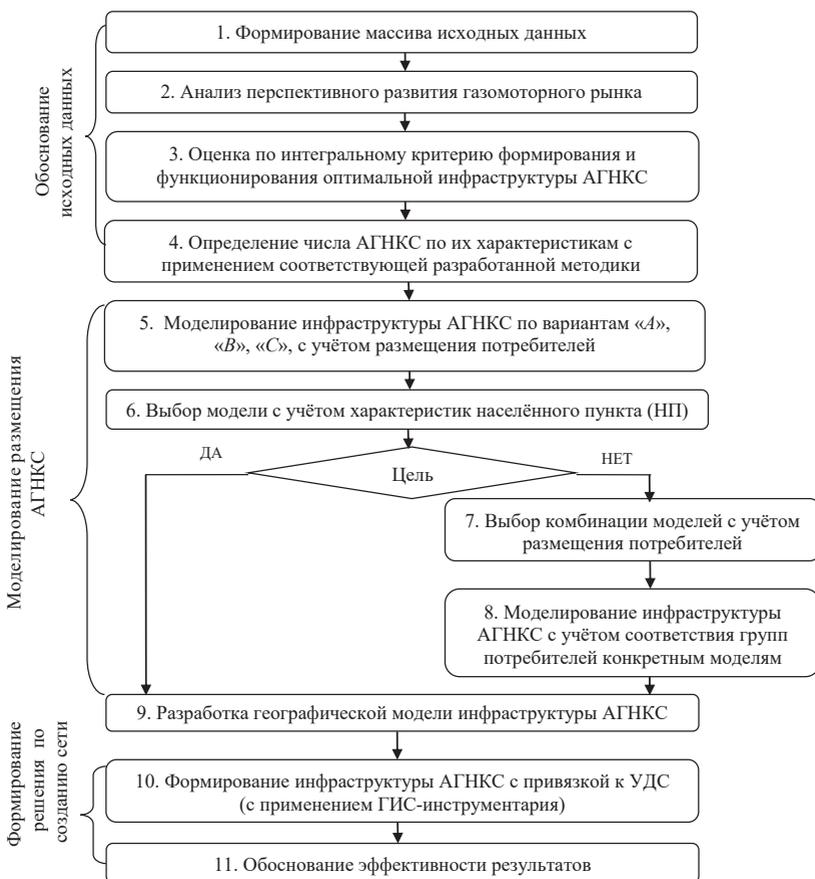


Рисунок 8 – Методика обоснования инфраструктуры АГНКС в городах

Реализация данной методики будет способствовать решению одной из задач по переводу работы АТС на ГМТ, она является универсальной и может быть распространена на другие регионы РФ.

III. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Итогом диссертационного исследования являются следующие результаты:

1. В результате анализа выявлено, что в России существует устойчивая тенденция увеличения объёмов потребления ГМТ. При этом имеется инфраструктурная недостаточность сети АГНКС в том числе и в Санкт-Петербурге, что создаёт существенную проблему для перевода работы автомобильного транспорта на КПГ. Данное обстоятельство нашло своё подтверждение при проведении экспертной оценки, которая выявила наиболее значимые факторы F_i , влияющие на перевод работы АТ на ГМТ. Произведено их ранжирование по уровню приоритета и значимости. Аналитически описана корреляционная зависимость между ними. Установлено, что наиболее значимым фактором, влияющим на перевод работы АТ на ГМТ, является наличие инфраструктуры АГНКС.

2. Установлен интегральный критерий (условия) формирования оптимальной инфраструктуры АГНКС СПб, при определении стратегии разработки сети станций заправки ГМТ.

3. На основе анализа исходных данных, определён тренд минимального ($103061 \text{ м}^3/\text{сут}$) и максимального ($138536 \text{ м}^3/\text{сут}$) среднесуточного потребления ГМТ, спрогнозировано развитие газомоторного рынка Санкт-Петербурга до 2023 года.

4. Определено необходимое число АГНКС, по их параметрическим характеристикам: среднесуточному потреблению ГМТ, времени (продолжительности) заправки и рациональным инвестиционным вложениям в сооружение заправочных станций. Выявлено, что ограничение по времени (продолжительности) заправки является более «мягким», а «критичным» оказывается способность АГНКС удовлетворить суточные объёмы поставок ГМТ. Это даёт возможность в дальнейшем делать ставку на ввод в строй средних, а при стабильной экономической ситуации в стране и больших АГНКС.

5. Разработаны математические модели («А», «В», «С») инфраструктуры АГНКС, что позволяет представить и оценить их состав, содержание и характеристики функционирования в пространстве и времени. По своему назначению и характеру модели формирования инфраструктуры АГНКС являются универсальными и могут быть трансформированы в различных их сочетаниях.

6. Выполнен вычислительный эксперимент для получения наиболее оптимального решения по формированию инфраструктуры АГНКС СПб (по вариантам «А», «В», «С»).

7. Разработаны географические модели инфраструктуры АГНКС СПб с учётом пространственно-территориального развития города на период до 2023 года.

8. Разработана методика обоснования региональной инфраструктуры АГНКС. Реализация данной методики будет способствовать решению одной из задач по переводу работы АТС на ГМТ, она является универсальной и может быть распространена на другие регионы РФ.

9. Представлена схема получаемого социально-экономического эффекта от формирования инфраструктуры АГНКС СПб за счёт снижения эксплуатационных затрат работы автомобильного транспорта, себестоимости перевозок, повышения прибыли и конкурентоспособности перевозчика. Снижение затрат перевозчиков, обслуживающих социальные городские маршруты обеспечит снижение дотационных выплат, осуществляемых за счёт местного бюджета.

10. Рассчитаны финансовые результаты деятельности АГНКС (на примере станции среднего типа). Точки безубыточности АГНКС достигнет через восемь месяцев работы, что подтверждает эффективность её функционирования. Срок окупаемости инвестиций составляет 2,6 года. В целом экономический эффект от производственной деятельности всей инфраструктуры АГНКС СПб можно прогнозировать в объёме около 1 млрд. руб. в год.

Полученные значения показателей эффективности подтверждают целесообразность создания и коммерческой эксплуатации, как отдельных станций по заправке автомобильного транспорта ГМТ, так и объектов инфраструктуры АГНКС в целом.

Таким образом, задачи и цели, поставленные в диссертационном исследовании, достигнуты. Результаты исследования показывают и позволяют решить актуальную научно-практическую задачу по формированию оптимальной инфраструктуры АГНКС в городах, что будет способствовать ощутимому снижению материальных и экологических издержек, связанных с эксплуатацией автомобильного транспорта.

IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ:

Публикации, в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Вельниковский А. А.** Концепция инфраструктуры газомоторного парка автомобильного транспорта. Пути развития // Вестник гражданских инженеров. – СПб., СПбГАСУ. – 2014. – № 6 (47). – С. 183–187.

2. **Вельниковский А. А., Глазков В. Ф.** Анализ и принципы формирования систем заправочных станций газомоторных автомобилей Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров / СПб., СПбГАСУ. – 2015. – № 3 (50). – С. 225–227.

3. **Вельниковский А. А.** Оптимизация инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. – СПб., СПбГАСУ. – 2015. – № 6 (53). – С. 185–189.

4. **Вельниковский А. А.** Экспертная оценка факторов, влияющих на эксплуатацию газомоторных автомобилей // Вестник гражданских инженеров. – СПб., СПбГАСУ. – 2016. - №1 (54). – С. 123–126.

5. **Вельниковский А. А., Глазков В. Ф.** Прогнозирование газомоторного рынка Санкт-Петербурга на основе регрессионной модели суточного потребления газомоторного топлива // Вестник гражданских инженеров. – СПб., СПбГАСУ. – 2016. – № 6 (59). – С. 209–212.

6. **Вельниковский А. А.** Моделирование инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. – СПб., СПбГАСУ. – 2017. – № 4 (63). – С. 201–204.

7. **Вельниковский А. А.** Имитационное моделирование инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга на основе районирования городской территории на кластеры // Вестник гражданских инженеров. – СПб., СПбГАСУ. – 2017. – № 5 (64). – С.137–141.

8. **Вельниковский А. А.** Перспектива развития инфраструктуры АГНКС Санкт-Петербурга с учётом транзитных транспортных потоков // Вестник гражданских инженеров. – СПб., СПбГАСУ. – 2017. – № 6 (65). – С. 260–264.

Публикации в других изданиях:

9. **Вельниковский А. А.** Адаптация системы технического обслуживания и ремонта к эксплуатации автомобилей, работающих на газовом топливе // Сборник материалов 70-й научной конференции / СПб., СПбГАСУ, 2014 г. – С. 63.

10. **Вельниковский А. А.** Концепция инфраструктуры газомоторного парка автомобильного транспорта. Пути развития // Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и докторантов «Актуальные проблемы безопасности дорожного движения». – СПб., СПбГАСУ 09–11 апреля 2014 г. – С. 59.

11. **Вельниковский А. А.** Методика моделирования инфраструктуры газомоторного парка автомобильного транспорта // Материалы X межвузовской научной конференции «Развитие транспорта – основа прогресса экономики России». – СПб., СПбГЭУ. – 2015. – С. 61 – 63.

12. **Вельниковский А. А.** Методика моделирования инфраструктуры газомоторного парка автомобильного транспорта // Материалы Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы». – Тюмень, ТюмГНГУ. – 2015. – С. 54–58.

13. **Вельниковский А. А., Глазков В. Ф.** Принципы формирования системы АГНКС // Материалы 71-й конференции

профессорско-преподавательского состава. – СПб., СПбГАСУ. – 2015. – С. 89.

14. **Вельниковский А. А.** Экспертная оценка факторов, влияющих на эксплуатацию газомоторных автомобилей // Материалы Международной научно-технической конференции «Транспортные и транспортно-технологические системы», Тюмень 14 апреля 2016. – Тюмень, ТюмГНГУ. – 2016. – С. 66–71.

Компьютерная верстка В. Е. Королевой

Подписано к печати 18.02.2019. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 1,6. Тираж 120 экз. Заказ 20.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

