

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет»

На правах рукописи

ВЕЛЬНИКОВСКИЙ АНАТОЛИЙ АНАТОЛЬЕВИЧ

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

Специальность **05.22.10** – Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
доцент
Черняев Игорь Олегович

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | | |
|----------|---|----|
| | ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| ГЛАВА 1. | АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОБОСНОВАНИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ АГНКС..... | 15 |
| 1.1 | Тенденции развития газомоторного автомобильного транспорта..... | 15 |
| 1.2 | Актуальность использования газомоторного топлива в автотранспортном комплексе..... | 21 |
| 1.3 | Обоснование необходимости формирования и оптимизации инфраструктуры АГНКС (на примере Санкт – Петербурга)..... | 30 |
| 1.3.1 | Анализ асимметрии потребителей ГМТ относительно дислокации АГНКС..... | 37 |
| 1.4 | Анализ работ в области использования КПП и эксплуатации АГНКС..... | 44 |
| | Выводы по первой главе..... | 48 |
| ГЛАВА 2. | ПОРЯДОК ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОЗАПРАВОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА (НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)..... | 50 |
| 2.1 | Экспертная оценка факторов, влияющих на эксплуатацию газомоторных автомобилей..... | 50 |
| 2.2 | Регрессионный анализ факторов экспертной оценки..... | 54 |
| 2.3 | Прогнозирование газомоторного рынка Санкт-Петербурга до 2023 года на основе регрессионной модели суточного потребления автотранспортом ГМТ..... | 59 |
| 2.4 | Определение числа АГНКС по их параметрическим характеристикам..... | 68 |
| | Выводы по второй главе..... | 77 |
| ГЛАВА 3. | МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ АГНКС (НА ПРИМЕРЕ САНКТ – ПЕТЕРБУРГА)..... | 78 |
| 3.1 | Обоснование исходных условий для моделирования..... | 78 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 3.2 | Моделирование инфраструктуры АГНКС..... | 85 |
| 3.2.1 | Моделирование инфраструктуры АГНКС по варианту «А»..... | 87 |
| 3.2.2 | Моделирование инфраструктуры АГНКС по варианту «В»..... | 102 |
| 3.2.3 | Моделирование инфраструктуры АГНКС по варианту «С»..... | 113 |
| 3.3 | Методика обоснования инфраструктуры АГНКС в городах..... | 130 |
| | Выводы по третьей главе..... | 132 |
| ГЛАВА 4. | ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ..... | 134 |
| 4.1 | Анализ производственной деятельности АГНКС..... | 134 |
| 4.1.1 | Типы, оборудование и системы АГНКС..... | 137 |
| 4.1.2 | Требование по безопасной заправке КПП..... | 143 |
| 4.2 | Оценка экономической эффективности функционирования инфраструктуры АГНКС (на примере Санкт – Петербурга)..... | 145 |
| 4.2.1 | Формирование экономического эффекта прогнозируемой инфраструктуры АГНКС..... | 145 |
| 4.2.2 | Экономические результаты функционирования АГНКС..... | 153 |
| 4.2.3 | Расчёт эксплуатационных затрат..... | 154 |
| 4.2.4 | Расчёт потребности в заёмных средствах и расходах на их погашение..... | 159 |
| 4.2.5 | Расчёт финансовых результатов и показателей эффективности деятельности АГНКС..... | 160 |
| 4.2.6 | Определение точки безубыточности работы АГНКС..... | 164 |
| 4.3 | Оценка экономической эффективности инвестиций в создание инфраструктуры АГНКС..... | 165 |
| | Выводы по четвёртой главе..... | 167 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 169 |
| | СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ..... | 173 |
| | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 174 |
| | ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 186 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. 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 сжатого 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 КПП. 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 [100] и «Программы внедрения газомоторного топлива в автотранспортном комплексе Санкт - Петербурга на 2014-2023 годы» № 52 –РП [101]), в которых определены показатели внедрения КПП на автомобильном транспорте. Эффективная эксплуатация постоянно увеличивающегося количества транспортных средств, использующих в качестве топлива КПП, без обоснованной региональной инфраструктуры АГНКС невозможна.

Санкт – Петербург – один из наиболее перспективных городов для развития рынка газомоторного топлива. Учитывая численность населения и автомобильного парка города, наличие в нём шедевров мирового искусства и постоянное пребывание многочисленных туристов, снижение негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду является важной задачей. Поэтому перевод транспорта на природный газ – способ сохранить культурно-историческое наследие для потомков.

Использование газомоторного топлива – это одно из немногих решений, которое окупается прямым экономическим эффектом в виде сокращения расходов на ГСМ. Переход на газовое топливо – это сокращение транспортных затрат регионов, организаций и граждан. Стоимость газомоторного топлива в 2,5 – 3 раза ниже стоимости его традиционных видов. Природный газ не требует затрат на

переработку, транспортируется по трубопроводам прямо к АГНКС. Поэтому его называют «готовым топливом». Фактически в топливный бак газ попадает прямо с месторождения. А потому его конечная цена намного ниже, чем у продуктов нефтепереработки. Таким образом, автомобильный транспорт затрагивает экономическую составляющую всех отраслей народного хозяйства и, сократив её можно в значительной степени уменьшить себестоимость производимой продукции и предоставляемых услуг. Это повысит и без того высокую конкурентоспособность автомобильного сегмента в единой транспортной системе страны.

Степень разработанности темы исследования. Автором диссертационной работы был проведён анализ научных исследований, связанных с использованием газобаллонных автомобилей (ГБА), ГМТ, эксплуатацией АГНКС. Можно выделить следующих авторов, работающих в этом направлении: Бушуева П.В., Володина В.В., Евстифеева А.А., Иванова А.С., Капустина А.А., Картошкина А.П., Коклина И.М., Коноплёва 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.

Выполненное диссертационное исследование в рассматриваемой предметной области позволяет считать её востребованной и принципиально разрешимой научно – прикладной задачей, способной быть реализованной в сфере эксплуатации газомоторных автомобилей (ГМА). Рекомендации исследования могут быть успешно трансформированы для решения аналогичных задач в различных регионах РФ.

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 совокупность 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 Санкт – Петербурга 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 работы. Использование разработанных в диссертационном исследовании математических моделей и алгоритмов, а также определение 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 по формированию 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, теории 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 анализ 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 научного – методического аппарата и обусловлена использованием аналитических методов для математического описания исследуемого процесса, методов экспертной оценки, компьютерных методик и средств автоматизированного учёта.

Апробация работы. Результаты исследования доложены на заседании комиссии по использованию результатов диссертационной работы в производственной деятельности ООО «Газпром газомоторное топливо», СПб ГУП «Пассажиравтотранс» и деятельности Комитета по транспорту Правительства СПб, что подтверждено соответствующими Актами внедрения (Приложение 3).

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 2015г.); 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).

Теоретические положения и результаты работы внедрены в образовательную деятельность по подготовке специалистов в СПбГАСУ (Приложение 3).

Разработанные математические и графические модели формирования инфраструктуры АГНКС для заправки автотранспорта Санкт-Петербурга позволят обеспечить его эффективную эксплуатацию, с учётом критериев размещения (доступности АГНКС для автотранспорта), территориальной плотности города, плотности автомобильных дорог, потенциальных потребителей КПП, выбора типоразмера АГНКС и обеспечения их оптимальной загрузки. Результаты исследования и предложенное научно – методическое обеспечение универсальны и могут быть внедрены в различные региональные программы перевода транспорта на газомоторное топливо и строительства АГНКС в РФ.

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

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав с выводами по каждой из них и общих выводов по диссертации. Диссертация 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

результатирующим 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.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОБОСНОВАНИЮ ИНФРАСТРУКТУРЫ АГНКС

1.1. Тенденции развития газомоторного автомобильного транспорта

Человечество находится в постоянном поиске наиболее эффективных источников энергии. Технический прогресс, которому сопутствует стремительное развитие всех видов транспорта, показывает, что автомобильный является основным потребителем энергетических ресурсов. В этой связи использование альтернативных и более дешёвых топлив представляет собой актуальную проблему глобального характера и масштаба.

В настоящее время основным источником энергии для автотранспорта являются бензин и дизельное топливо. Их получают путем ректификации и дифференцированного отбора фракций нефти. Нефть занимает ведущее место в мировом топливно-энергетическом хозяйстве и относится к невозобновляемым ресурсам. Ограниченность её запасов делают актуальными развитие технологий с уменьшенным потреблением нефтепродуктов, а также развитие альтернативных генерирующих мощностей, не использующих продукты нефтепереработки.

Растущий интерес к альтернативным видам топлива для автомобилей обусловлен следующим:

- альтернативные виды топлива дают меньше вредных выбросов, усиливающий смог, загрязнение воздуха и глобальное потепление, т.е. минимизируют негативное воздействие на окружающую среду;
- большинство альтернативных видов топлива производится из неограниченных природных запасов;
- использование альтернативных видов топлива позволяет государству повысить свою энергетическую независимость и безопасность.

В настоящее время в качестве альтернативных видов топлива можно рассматривать целый арсенал энергетических источников (электричество,

биодизельное топливо, природный газ, водород, пропан, метанол, этанол). Самое перспективное топливо из числа альтернативных — это природный газ. По данным экспертов международного энергетического агентства в перспективе до 2040 года на его долю будет приходиться 22 - 25% от энергетических ресурсов. Распределение подтверждённых природных запасов природного газа в мире представлено на рисунке 1.1 и Россия является мировым лидером (27%).



Рисунок 1.1 - Распределение подтверждённых мировых запасов природного газа

Эксперты компании ВР оценили мировые доказанные запасы природного газа на конец 2016 года в 186, 6 триллиона кубических метров (включая 32,3 трлн. м³ в России) [130].

Правительства многих стран стимулируют приобретение автомобилей на газомоторном топливе или переоборудование их для работы на нём, а также приобретение оборудования для АГНКС. В Евросоюзе в полтора-два раза снижены налоги на газомоторный транспорт. В Риме транспорт на альтернативном топливе освобожден от уплаты налогов на три года [119].

Во Франции действует запрет на использование нефтяного топлива на муниципальных автобусах. В Швеции автотранспортные средства, работающие

на газомоторном топливе, освобождены от сборов на платных стоянках [119].

По планам ЕЭК ООН к 2020 г. почти 23,5 млн автомобилей в Европе должны работать на природном газе [119] Ежегодный объём потребления природного газа в качестве моторного топлива таким образом составит почти 47 млрд м³.

Мировой парк автомобилей, использующих метан в качестве моторного топлива (ГБА) продолжает расти и в 2017 году увеличился на 5,5% и на 31.12.2017 года составил примерно 25,5 миллиона машин (рисунок 1.2, таблица 1.1) [129].

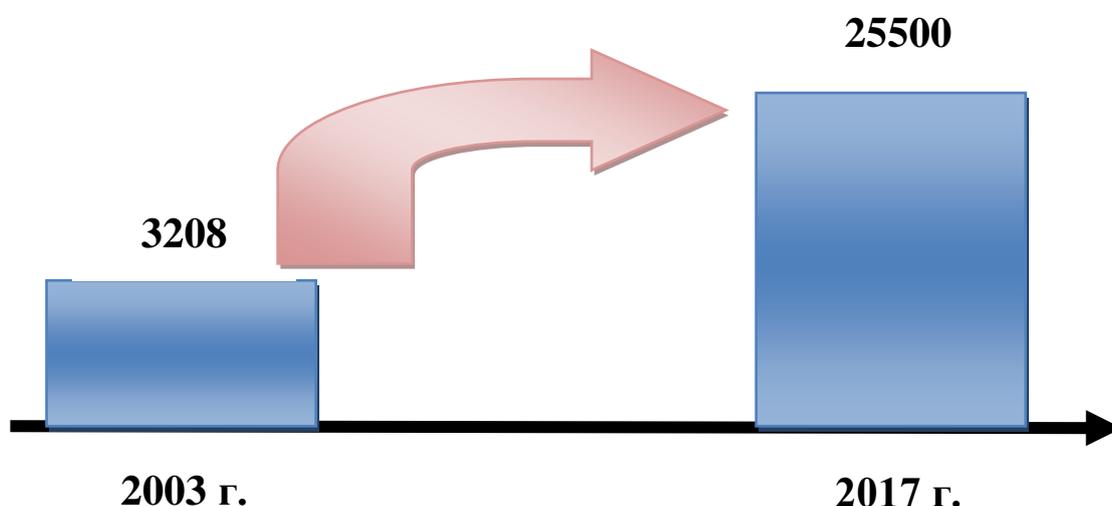


Рисунок 1.2 - Количество автомобилей в мире, работающих на метане, тыс.шт.

В России, по данным ООО «Газпром газомоторное топливо» спрос на природный газ в 2017 году увеличился и достиг 615 млн. м³, включая 480 млн. м³ в Группе Газпром [121].

За последние годы количество ГБА в России возросло до 145 тыс.единиц. (табл.1.1). К 2020 году количество автомобилей, использующих природный газ в качестве моторного топлива, может вырасти до 370 000 ед., а потребление КПП вырастет до 10,4 млрд. м³ [129]. В связи с этим необходимо решить следующие задачи: активно развивать инфраструктуру АГНКС с сокращением плеч заправки ГБА и с учётом плотности транспортных потоков; активно газифицировать ТС, тем самым увеличивать долю объёмов КПП в реализации моторных топлив.

Таблица 1.1 - Мировой газомоторный рынок в 2017 году (по данным NGV Global на 31.12.2017 г.)

| № п/п | Страна | Парк ГБА (КПП+СПГ), шт | Число АГНКС (+крио АЗС) | ГБА в общем парке ТС, % | ГБА на 1 АГНКС |
|----------|----------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
| 1 | Китай | 5 350 000 | 8 300 | 2,14 | 644,6 |
| 2 | Иран | 4 000 000 | 2 380 | 14,89 | 1 680,7 |
| 3 | Аргентина | 2 295 000 | 2 014 | 9,93 | 1139,5 |
| 4 | Италия | 1 001 614 | 1 072 | 1,95 | 934,3 |
| 5 | Колумбия | 565 045 | 801 | 4,59 | 705,4 |
| 6 | Венесуэла | 226 100 | 300 | 4,33 | 753,7 |
| 7 | Египет | 185 000 | 162 | 2,63 | 1142,0 |
| 8 | США | 160 000 | 1847 | 0,06 | 86,6 |
| 9 | Россия | 145 000 | 330 | 0,29 | 439,4 |
| 10 | Германия | 93 964 | 885 | 0,18 | 106,2 |
| 11 | Грузия | 80 600 | 100 | 8,47 | 806,0 |
| 12 | Швеция | 54 439 | 173 | 0,95 | 314,7 |
| 13 | Япония | 46 316 | 693 | 0,05 | 66,8 |
| 14 | Украина | 20 000 | 310 | 0,24 | 64,5 |
| 15 | Франция | 14 548 | 60 | 0,03 | 242,5 |
| 16 | Швейцария | 12 912 | 141 | 0,23 | 91,6 |
| 17 | Канада | 12 500 | 47 | 0,06 | 266,0 |
| 18 | Австрия | 11 501 | 172 | 0,18 | 66,9 |
| 19 | Испания | 6 144 | 115 | 0,02 | 53,4 |
| 20 | Турция | 3 850 | 6 | 0,02 | 641,7 |
| 21 | Финляндия | 3 500 | 37 | 0,06 | 94,6 |
| 22 | Греция | 2 210 | 10 | 0,03 | 221,0 |
| 23 | Норвегия | 745 | 7 | 0,02 | 106,4 |
| 24 | Великобритания | 310 | 38 | 0,00 | 8,2 |
| 25 | Израиль | 3 | 1 | 0,00 | 3,0 |

В первую очередь переход на газомоторное топливо актуален для пассажирского транспорта и коммунальной техники, так как период их окупаемости напрямую зависит от пробега. Чем он существенней, тем меньше срок окупаемости. Муниципальные автопарки потребляют большой объем топлива, и находясь на линии, ежедневно пробегают многокилометровые маршруты.

В настоящее время более 50% парка автобусов в России старше 15 лет. Перевод муниципальных парков на экономичное моторное топливо позволит обновить их с максимальным эффектом.

Анализ текущего состояния рынка газобаллонных транспортных средств позволяет выделить следующие проблемы, препятствующие развитию данного направления:

- отсутствие потенциальных финансовых и инвестиционных решений (инструментов) для расширения парка газобаллонных транспортных средств;
- недостаточная законодательная и нормативно – техническая база для развития парка газобаллонных транспортных средств;
- наличие административных барьеров при развитии парка газобаллонных транспортных средств;
- отсутствие широкомасштабного серийного производства газобаллонных транспортных средств;
- крайне недостаточный уровень развития газозаправочной инфраструктуры.

Актуальность перевода автомобилей на газовое топливо подчёркивается рядом достоинств, к которым относятся следующие:

1. Уменьшение суммарной токсичности выхлопных газов в 1,5- 2 раза.
2. Переоборудование автомобиля на ГМТ не требует серьезной и трудоёмкой реконструкции двигателя.
3. Невысокая стоимость ГМТ и, следовательно, быстрая окупаемость установки газомоторного оборудования.
4. Ресурс двигателя при использовании ГМТ повышается в среднем на 35%. При сгорании газа остаётся гораздо меньше твёрдых частиц, которые образуют нагар на цилиндрах.
5. Работа двигателя на ГМТ становится мягче, потому что метан сгорает немного медленнее, но равномернее, чем бензин и потому не снижается нагрузка на цилиндропоршневую группу, которая неизбежно повышается при сгорании рабочей смеси на бензине.
6. Более высокое содержание водорода в ГМТ обеспечивает более полное его

сгорание, что способствует снижению выбросов СО в атмосферу, в камере сгорания не накапливаются смолистые отложения, уменьшается нагарообразование на свечах.

7. ГМТ - высококачественное топливо с октановым числом около 105. Поэтому ни на одном режиме работы двигателя не возникает детонация.

8. При выработке ГМТ по контрольному датчику двигатель останавливается не сразу, а прекращает работу через 2-4 км пробега.

9. Комбинированная система питания газ плюс бензин - это 1000 км пути на одной заправке обеих топливных систем, а значит – увеличивается запас хода по топливу.

10. Газовые баллоны тороидальной формы уместаются в нише, свободной от запасного колеса, у автомобилей с типом кузова хэтчбек и универсал.

11. Современные газовые топливные системы, выпускаемые в России и за рубежом, компактны и удобны. По форме они столь разнообразны, что в автомобиле можно установить даже два баллона, не стеснив при этом водителя и пассажиров.

12. ГМТ не содержит вредных примесей, разрушающих двигатель и каталитический нейтрализатор выхлопной системы.

13. Двигатель, работающий на ГМТ, требует минимальной регулировки.

14. Уменьшение уровня шума работы двигателя на 2-3 db.

15. Увеличение пробега на одной заправке в 2-3 раза.

Также у газобаллонных машин проявляются и недостатки:

1. Трудности в приобретении запасных частей (ремкомплектов для импортных редукторов, газовых фильтров, блоков арматуры).

2. Снижение мощности двигателя на 7%.

3. Затруднения с пуском холодного двигателя.

4. Незначительное увеличение расхода потребляемого газа в литрах по сравнению с бензином.

5. Несущественное увеличение материалоемкости автомобиля (на 30 – 40 кг).

6. Заправка ГМТ производится медленнее (примерно 6 минут), чем бензином.

7. Автомобильная арматура имеет специальное устройство, автоматически перекрывающее заправочный канал при достижении заполнения полезного объема баллона на 85%. При достигнутом объеме заправка баллона прекращается.

1.2. Актуальность использования газомоторного топлива в автотранспортном комплексе

В настоящее время автотранспорт является одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды и атмосферного воздуха. На протяжении последних 10 лет в Санкт-Петербурге происходит неуклонный рост количества транспортных средств, вследствие чего увеличивается негативное воздействие данного вида транспорта на атмосферный воздух.

Перевод автотранспортных средств с бензина и дизельного топлива на газомоторное топливо позволит снизить выбросы по основным загрязнителям воздуха для Санкт – Петербурга (оксидами азота и взвешенным веществам), а также уменьшить шумовое воздействие на окружающую среду (рисунок 1.3) [121].

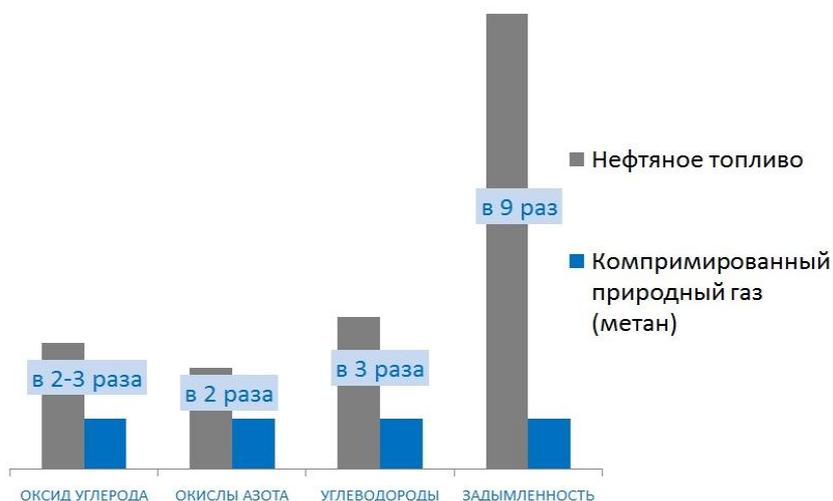


Рисунок 1.3 - Сравнительная диаграмма вредных выбросов автомобильного топлива в атмосферу

Непринятие мер, направленных на обеспечение экологической безопасности автомобильного транспорта, приведет в перспективе к значительному увеличению уровня загрязнения атмосферного воздуха и ухудшению условий

проживания населения. Применение природного газа в качестве моторного топлива позволит обеспечить уровень выбросов вредных веществ двигателями внутреннего сгорания, соответствующий нормам «ЕВРО-5» и «ЕВРО-6». По укрупненным расчетам выбросы основных загрязняющих веществ для Санкт-Петербурга от грузовых автомобилей и автобусов, работающих на жидком нефтяном топливе, при переводе такого же количества автотранспортных средств на КПГ могут сократиться на 20 – 30 %. С учетом снижения в общем объеме выбросов высокотоксичных и канцерогенных веществ, присутствующих в отработанных газах автотранспортных средств, реализация мероприятий Программы по газификации транспорта может внести весомый вклад в снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге.

С другой стороны налицо экономическая выгода использования ГМТ на автомобильном транспорте. Цена газомоторного топлива ниже топлива нефтяного происхождения и составляет в настоящее время 40 – 60 % от стоимости бензина и дизельного топлива. Однако, ГБА дороже дизельных аналогов. Удорожание составляет по автобусам от 10 до 25 %, по грузовым автомобилям и спецтехнике от 15 до 80 %. В России газовые автобусы дороже дизельных на 10 – 20 %, а спецтехника на 10 – 30 % [119]. Однако, при расчёте годового расхода топлива одного автобуса большого класса затраты составили: на дизельное топливо – 1168 тыс.руб; на газ – 570 тыс.руб; разница – 51 % [125]. Диаграмма соответствующих затрат представлена на рисунке 1.4.

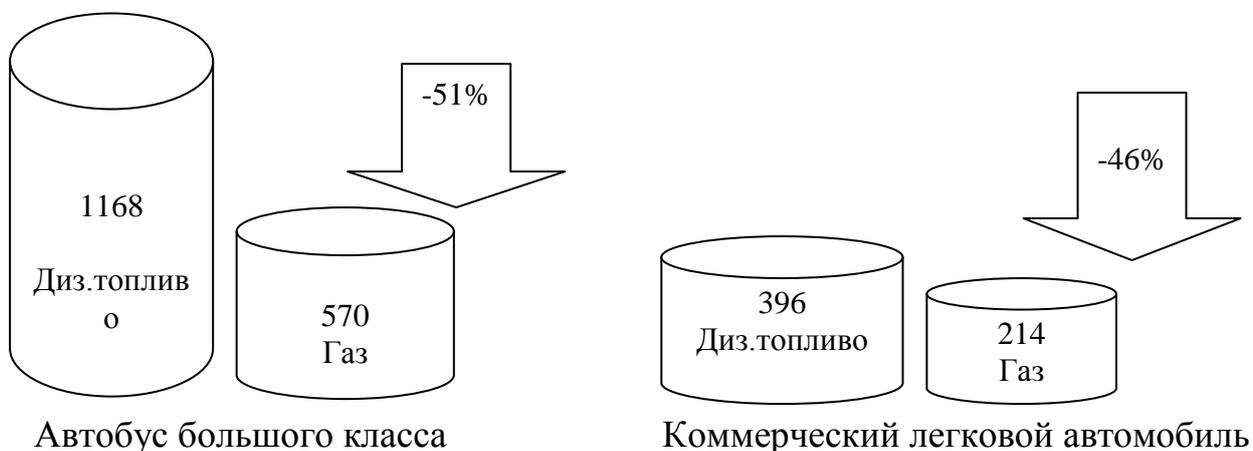


Рисунок 1.4 - Затраты на дизельное топливо и газ, тыс.руб.

Несмотря на более высокую стоимость, ГБА окупаются быстрее дизельных аналогов и приносят больший доход.

Срок окупаемости при эксплуатации газомоторного автобуса большого класса представлен в таблице 1.2. (Выделение цветом приемлемый срок окупаемости)[125].

Таблица 1.2 - Срок окупаемости газомоторного автобуса большого класса

| Годовой пробег, тыс.км | Стоимость природного газа, руб./ куб.м | | | | | | |
|------------------------|--|------------|------------|------------|----------|------------|------|
| | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 |
| | Срок окупаемости, месяцев | | | | | | |
| 37 | 16,4 | 17,1 | 18 | 19,1 | 20,4 | 22 | 24 |
| 46 | 13,1 | 13,7 | 14,4 | 15,3 | 16,3 | 17,6 | 19,3 |
| 57 | 10,5 | 11 | 11,5 | 12,2 | 13 | 14 | 15,4 |
| 72 | 8,4 | 8,8 | 9,2 | 9,8 | 10,4 | 11,2 | 12,3 |
| 86 | 7 | 7,3 | 7,7 | 8,1 | 8,7 | 9,4 | 10,3 |
| 100 | 5,8 | 6,1 | 6,4 | 6,8 | 7,2 | 7,8 | 8,5 |
| 120 | 4,8 | 5 | 5,3 | 5,6 | 6 | 6,5 | 7,1 |

Автомобильный транспорт затрагивает экономическую составляющую всех отраслей народного хозяйства и, сократив её можно в значительной степени уменьшить себестоимость производимой продукции и предоставляемых услуг. Это повысит и без того высокую конкурентоспособность автомобильного сегмента в единой транспортной системе страны.

Основные потребители газомоторного топлива (метана) – это автомобили, работающие ежедневно, имеющие большие пробеги и большой расход топлива. Прежде всего, это автобусы, коммунальная, дорожная и строительная специальная техника. Согласно распоряжению Правительства РФ до 2020 года планируется довести количество автобусов на ГМТ до 19,5 тыс.ед. и техники до ЖКХ до 23,7 тыс.ед. [100]. Объём субсидирования составит 3,7 млрд.руб.,

потенциал закупок автотехники – 2350 ед.(субсидии на 1 ед. большого автобуса - 2500 тыс.руб.; на 1 ед. техники для ЖКХ – 1200 тыс.руб.) [101].

В Санкт-Петербурге по состоянию на конец 2017 года на государственном учете состоит 2 031 138 автотранспортных средств (из них имеющих возможность использовать КПП в качестве моторного топлива 4149 – 0,2% от общего числа), в том числе 19 838 автобусов - (на КПП - 174), 213 123 грузовых автомобилей (на КПП - 2013) и 1 636 336 легковых автомобилей (на КПП - 1962) [120].

С учетом ежегодного роста автомобильного парка в Санкт-Петербурге в настоящее время назрела необходимость обеспечения его высококачественным моторным топливом с улучшенными экологическими характеристиками. В качестве такого топлива целесообразно использование природного газа (метана), в том числе КПП.

КПП является доступным и эффективным альтернативным видом моторного топлива. Прежде всего, за счёт сокращения эксплуатационных затрат, снижения выбросов автотранспортными средствами вредных (загрязняющих) веществ и замещения соответствующего количества нефтяных видов моторного топлива.

В Санкт-Петербурге существуют предпосылки для развития газификации автотранспорта. Имеется разветвлённая и надёжная сеть газопроводов высокого, среднего и низкого давления. В то же время по данным Комитета по транспорту (состояние на 01.01.2014) на территории Санкт-Петербурга функционировали лишь 22 АГЗС (пропан – бутан) и 1 АГНКС (метан), что весьма недостаточно для широкомасштабного использования ГМТ в автотранспортном комплексе города.

Следует отметить, что вариант переоборудования автобусов, а также грузовых автомобилей и специальной коммунальной техники на использование гибридного двигателя (дизель-метан) ввиду повышенной изношенности значительной части подвижного состава не рассматривается из-за больших финансовых затрат и отсутствия существенного экономического и экологического эффектов. Кроме этого, при переоборудовании нового подвижного состава на ГМТ существует большая вероятность отказа лизинговых компаний и заводов изготовителей транспортных средств от исполнения их гарантийных

обязательств.

Поэтому в рамках обновления изношенного подвижного состава города целесообразно закупать новую технику с газовыми двигателями заводского производства.

Исходя из актуальности данной проблемы, в Санкт-Петербурге принята Программа внедрения газомоторного топлива в автотранспортном комплексе на 2014 – 2023 годы (далее Программа), основными целями которой являются:

- обеспечение снижения уровня негативного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду и здоровье населения;
- повышение экономической эффективности автомобильных перевозок в Санкт-Петербурге.

В ходе реализации мероприятий данной Программы предусматривается решение следующих задач:

- замена автотранспортных средств государственных предприятий (учреждений) Санкт-Петербурга на подвижной состав, использующий газомоторное топливо;
- реконструкция и обеспечение специальным оборудованием производственных площадей автобусных парков, парков хранения и обслуживания транспортных средств (в том числе механизированных баз хранения уборочной, садово-парковой и строительной техники) государственных предприятий (учреждений) Санкт-Петербурга (далее – автотранспортные предприятия);
- строительство и ввод новых АГНКС;
- снижение уровня негативного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду и здоровье населения;
- расширение межрегионального сотрудничества в области использования газомоторного топлива;
- организация сотрудничества с производителями газобаллонного оборудования;

- организация подготовки кадров в области использования газомоторного топлива;
- обеспечение условий для перевода парка грузового автотранспорта частных предприятий и организаций Санкт-Петербурга на использование газомоторного топлива.

Предполагается, что финансирование мероприятий Программы будет осуществляться за счет средств бюджета Санкт-Петербурга и внебюджетных источников финансирования. Общий прогнозный объем финансирования мероприятий Программы на приобретение подвижного состава, проектирование и реконструкцию инфраструктуры автотранспортных предприятий, закупку необходимого оборудования и хозяйственного транспорта, обучение персонала, проектирование и строительство АГНКС составляет 30 344,8 млн.руб. (из бюджета Санкт-Петербурга – 18 950,5 млн. руб., из внебюджетных источников финансирования – 11 394,3 млн. руб.), в том числе на строительство АГНКС – 3,640 млн.руб. [101].

Реализация мероприятий Программы позволит:

1. Обеспечить условия для перевода подвижного состава предприятий и организаций Санкт-Петербурга на газомоторное топливо.
2. Сократить потребление дизельного топлива и бензина, что приведет к экономии бюджетных средств, а также будет способствовать сокращению затрат на перевозки. В результате реализации мероприятий Программы в течение 2014 – 2023 годов по ориентировочным расчетам экономия в автотранспортном комплексе Санкт-Петербурга за счет замены дизельного топлива и бензина на ГМТ при сохранении существующего соотношения цен прогнозируется до 9 433,9 млн. руб., в том числе на пассажирском автобусном транспорте общего пользования – 3 868,6 млн. руб.;
3. Обеспечить относительное снижение выбросов основных загрязняющих веществ в атмосферу от государственного автотранспорта до 20 – 30 %.

Ожидаемые результаты выполнения Программы внедрения газомоторного

топлива в автотранспортном комплексе Санкт-Петербурга на 2014-2023 г. представлены на рисунках 1.5-1.12.

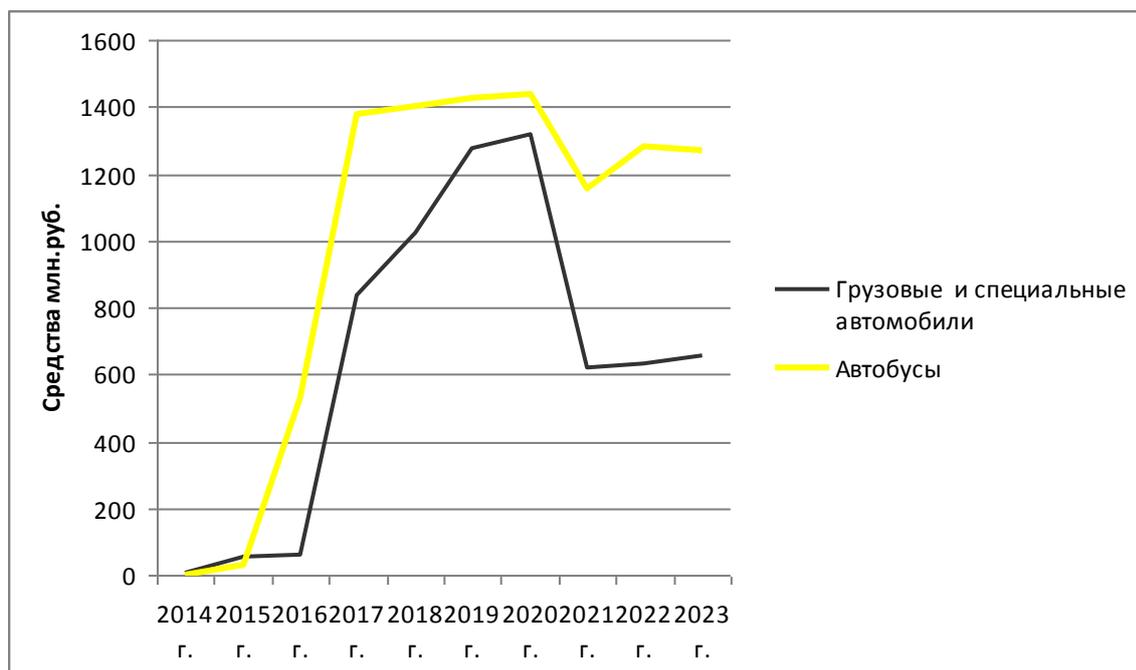


Рисунок 1.5 - Приобретение автотранспортных средств на КПП

Реализация мероприятий Программы окажет положительное влияние на развитие экономики Санкт-Петербурга в целом, будет способствовать повышению инвестиционной привлекательности Санкт-Петербурга, улучшению экологической обстановки в Санкт-Петербурге, созданию предпосылок для обеспечения высоких темпов развития инновационных технологий, что в итоге приведет к повышению уровня жизни населения.

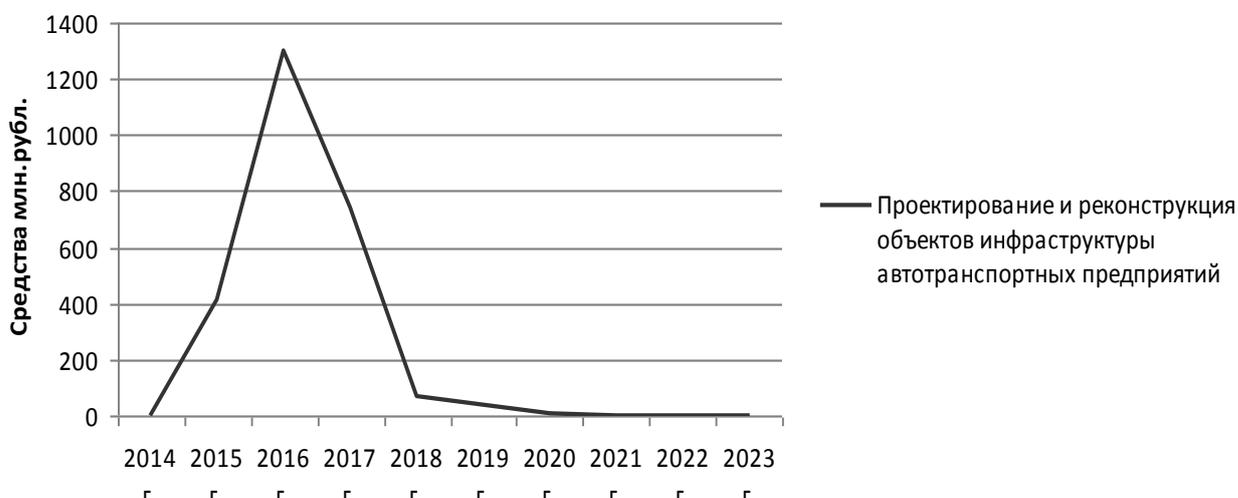


Рисунок 1.6 – Затраты на проектирование и реконструкцию объектов инфраструктуры автотранспортных предприятий

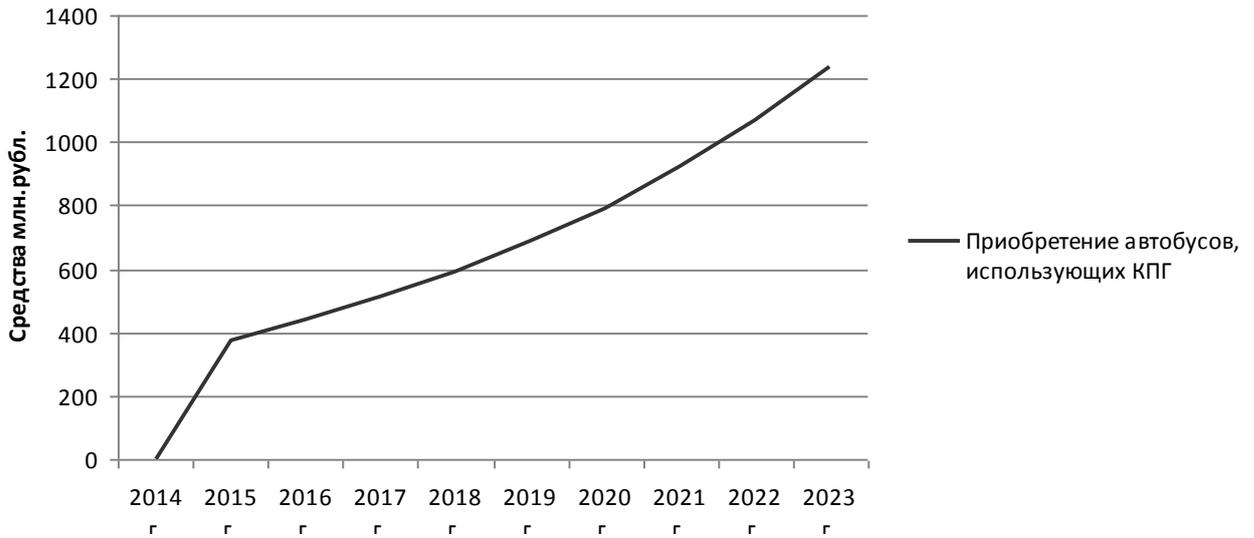


Рисунок 1.7 - Приобретение автобусов, использующих КПП

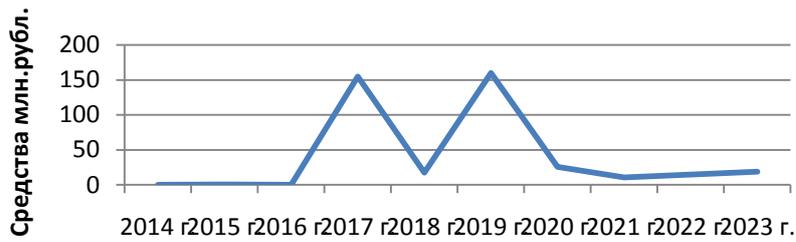


Рисунок 1.8 - Приобретение оборудования для обслуживания автотранспортных средств, использующих КПП

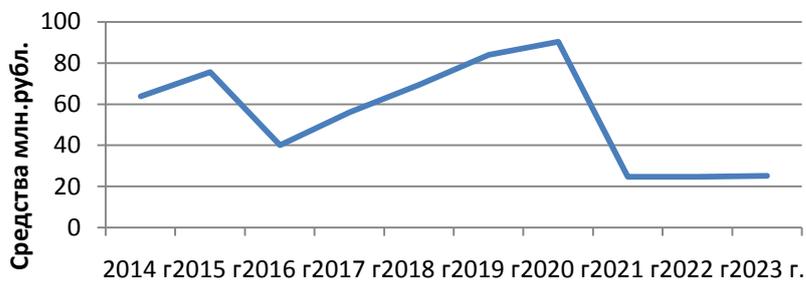


Рисунок 1.9 – Затраты на проектирование и реконструкцию объектов инфраструктуры автотранспортных предприятий

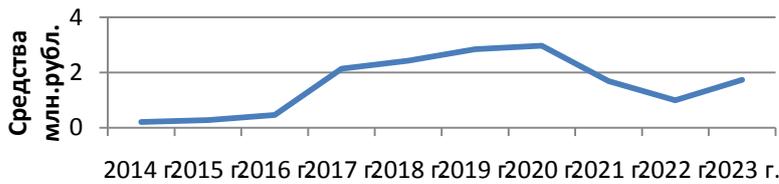


Рисунок 1.10 – Финансирование обучения персонала для работы с автотранспортными средствами, использующими КПП

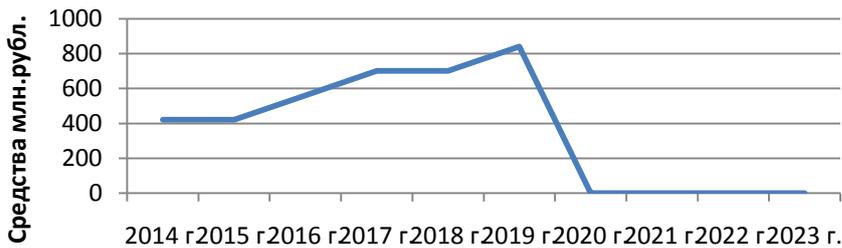


Рисунок 1.11 – Инвестиции на строительство и ввод в эксплуатацию новых АГНКС

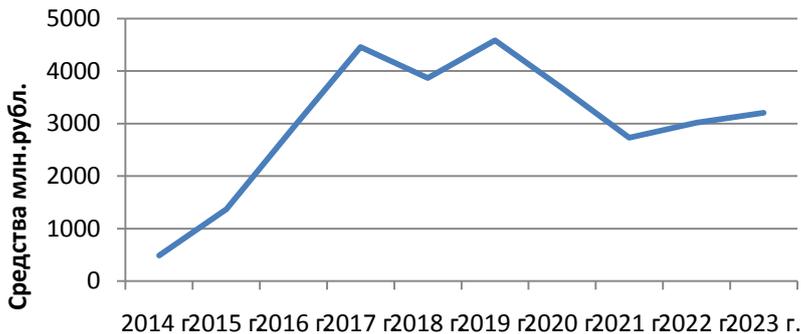


Рисунок 1.12 - Капиталовложения по всей «Программе» перевода автомобильного транспорта Санкт – Петербурга на газ

Таким образом, сочетание федеральных и региональных мер поддержки выполнения мероприятий Программы позволит создать условия, как для расширения спроса, так и для повышения предложения на рынке газомоторного топлива, что в конечном итоге, приведёт к росту эффективности использования и экологической безопасности автотранспорта.

1.3 Обоснование необходимости формирования и оптимизации инфраструктуры АГНКС (на примере Санкт –Петербурга)

Основные цели оптимизации связаны с экстремальными требованиями, предъявляемыми к объекту в виде максимизации эффективности его функционирования. Оптимизация - это нахождение наилучшего из возможных вариантов решения задачи при заданных требованиях и определение пути достижения этих целей с наибольшим экономическим эффектом. Это способность технической системы изменять своё состояние (параметры, структуру и функционирование) в зависимости от изменений условий внешней среды. Такая система работает при наличии априорной неопределённости и изменяющихся внешних условий, а получаемую в процессе работы информацию об этих условиях используют для повышения эффективности работы системы.

Параметры поставленной задачи Z , оценка ситуации N , анализ состояния объекта S , выбор оптимизирующего воздействия на него V , принятие решения R в целях получения планируемого эффекта взаимосвязаны (рисунок 1.13). Процесс оптимизации состоит из оценки ситуации, выбора решения об оптимизирующем воздействии и реализации этого воздействия. Сама оптимизация сводится к решению задачи по выбору такого воздействия, которое удовлетворяло бы её целям.

В процессе поиска определяется оптимизирующее влияние на объект, и эта информация используется для повышения его эффективности. Сам по себе процесс поисковой оптимизации имеет последовательный многоэтапный характер, при этом на каждом этапе принимаются меры по повышению эффективности объекта.

Оптимизация имеет различный характер. При этом можно изменять параметры объекта оптимизации, или его структуру. Структурная оптимизация является более глубокой и радикальной, так как при этом изменения наиболее существенно затрагивают реформируемый объект.

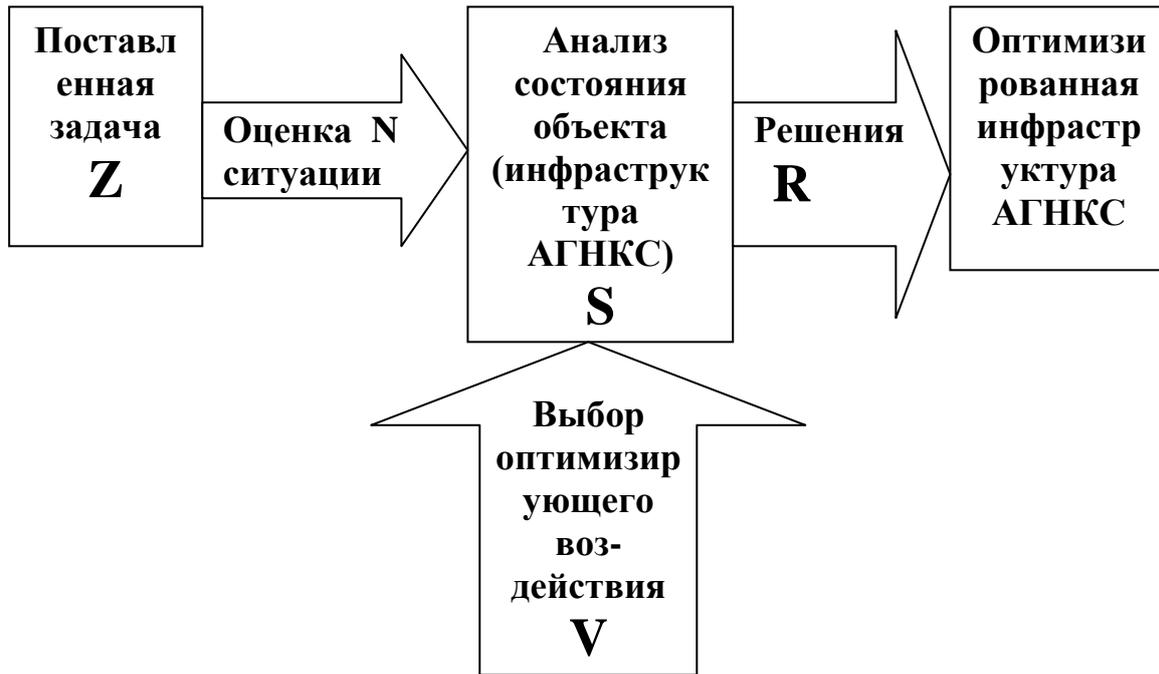


Рисунок 1.13 – Блок – схема решения задачи по оптимизации системы (инфраструктуры АГНКС)

Процесс поиска и выбор решения об оптимизирующем воздействии состоит из повторяющихся этапов (шагов), каждый из которых представляет переход от одного решения к другому.

$$R[0] \rightarrow R[1] \rightarrow \dots \rightarrow R[N] \rightarrow R[N + 1] \dots$$

Каждое последующее решение получается из предыдущего с помощью алгоритма поиска A , который указывает, какие операции надо сделать при $R[N]$, чтобы получить более предпочтительное решение. В поисковом алгоритме A , на каждом этапе выполняются два главных шага. На первом шаге собирается информация (массив исходных данных). На втором шаге принимается решение о выборе характера изменений, т.е. как, насколько и каким образом необходимо изменить S , чтобы перейти к более предпочтительному решению $R[N + 1]$, т.е. определяется, например, какой математический аппарат будет использован для достижения поставленной цели.

Развитие рынка газомоторного топлива в первую очередь представляет инфраструктурный проект, поскольку в процессе его формирования создание развитой инфраструктуры АГНКС должно опережать спрос на газ. Именно газозаправочные мощности являются фундаментом развития новой отрасли.

Основными целями государственной политики на период с 2015 г. по 2023 г. в сфере использования газомоторного топлива и развития газозаправочной инфраструктуры являются:

1. Совершенствование нормативной правовой базы и создание системы программно – проектного управления в отрасли газомоторного топлива.
2. Обеспечение устойчивого роста спроса на газомоторное топливо в ключевых сегментах потребителей.
3. Обеспечение опережающего роста предложения газомоторного топлива и развития газозаправочной инфраструктуры, в том числе за счёт применения мер государственной поддержки отрасли газомоторного топлива и реализации инвестиционных программ по развитию отрасли КПП ключевых участников рынка.
4. Информационное обеспечение перевода потребителей на КПП и подготовка кадров в области использования КПП.

При реализации этих целей основными задачами являются:

1. Формирование системы планирования развития отрасли газомоторного топлива в субъектах РФ.
2. Расширение парка АТС, работающих на КПП путём приобретения новых и модернизации действующих АТС на КПП.
3. Расширение на территории субъекта РФ производства АТС, работающих на КПП, и ГБО для переоснащения АТС, работающих на бензине и дизельном топливе.
4. Повышение уровня реализации КПП на региональной сети газозаправочных станций за счёт роста загрузки существующих пунктов заправки газомоторном топливом (АГНКС, модулей заправки компримированным природным газом на действующих автозаправочных станциях, автогазозаправочных станциях, многотопливных автозаправочных станциях и ПАГЗов), а также создания новых пунктов заправки газомоторным топливом, в том числе - ведомственных на территории государственных и муниципальных автопарков, внедряющих АТС на КПП.

5. Расширение сети сервисных центров, предоставляющих услуги по переоборудованию и обслуживанию АТС на КПП.
6. Организация подготовки кадров в области использования КПП.

К мерам стимулирования развития газомоторной инфраструктуры относятся:

- Усовершенствование законодательной базы;
- Привлечение инвестиций в отрасль. Господдержка на федеральном уровне;
- Запрет на строительство автозаправочных станций без блока заправки автомобилей КПП. Строительство многотопливных заправочных станций (МАЗС) или дооборудование традиционной АЗС путём установки дополнительного модуля заправки сжиженным природным газом (блока КПП);
- Развитие инфраструктуры гарантирует получение заказов на производство оборудования;
- Развитие инфраструктуры гарантирует повышение спроса на газомоторный транспорт.

Изменениями, внесёнными в постановление Правительства РФ «О требованиях к обеспеченности автомобильных дорог общего пользования объектами дорожного сервиса, размещёнными в границах полос отвода», обеспечение предоставления возможности осуществления заправки транспортных средств газовым моторным топливом включено в перечень минимально необходимых услуг, оказываемых на АЗС, размещаемых в границах полос отвода автомобильных дорог [80].

В 2014 году утверждены и прошли государственную регистрацию изменения в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. В новой редакции документа актуализированы санитарные нормы и требования к современным газовым заправочным станциям и местам перегрузки и хранения топлива [73]. Кроме того, пересматривается минимальное расстояние от газомоторных объектов до зданий и сооружений, а также готовятся предложения внести изменения в Земельный кодекс Российской Федерации, предусматривающие выделение земельных участков под строительство АГНКС без проведения конкурса.

Исходя из вышеуказанного, следует сделать важный вывод, что газозаправочная инфраструктура является фундаментом развития рынка газомоторного топлива и перевода автомобильного транспорта на ГМТ. Для нормального функционирования автомобилей на ГМТ сначала необходимо создать эффективную инфраструктуру автозаправочных станций, представленную на рисунке 1.14 [125].

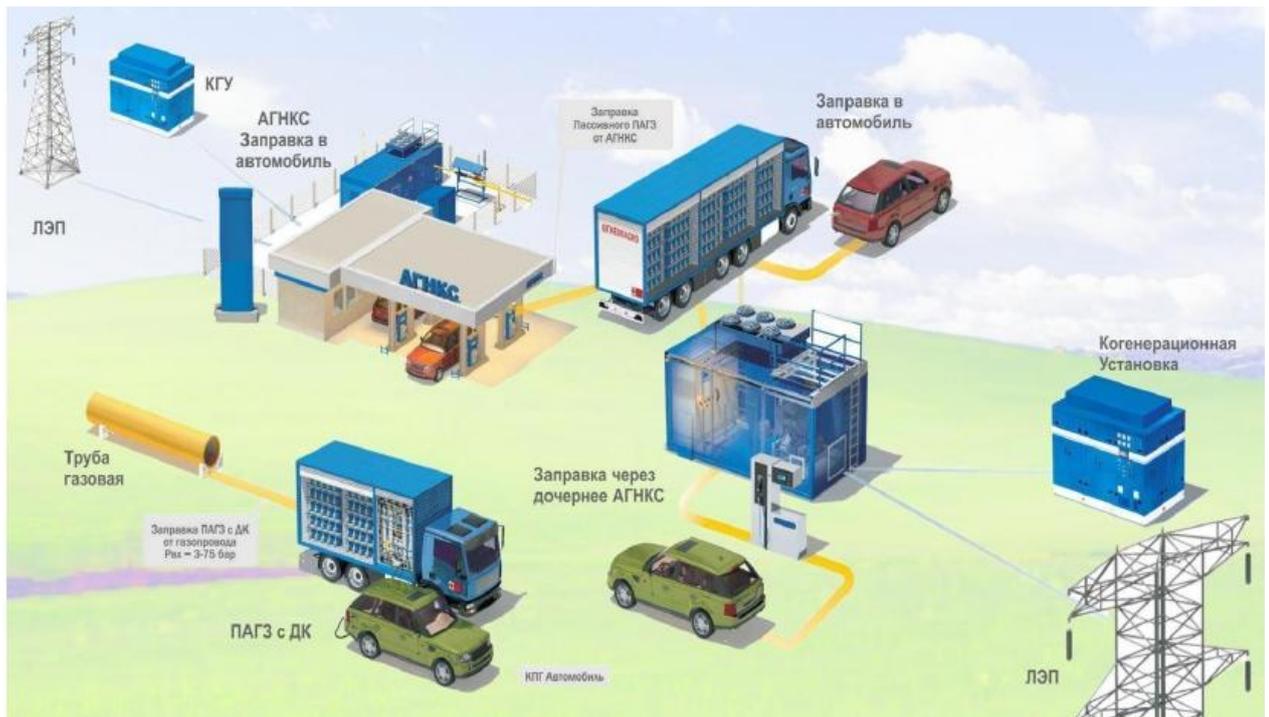


Рисунок 1.14 - Заправочная инфраструктура ГМТ

Обязательным условием сбалансированного развития парка пассажирского транспорта, работающего на ГМТ, является синхронное развитие газомоторной инфраструктуры – увеличение объёмов строительства АГНКС и многотопливных заправочных станций.

К началу 2017 года в России количество АГНКС Группы «Газпром» насчитывало 255 станций.

В 2017 году загрузка АГНКС в среднем по России составила 26 %. По данным Минэнерго России объём реализации КПГ в 2017 году по РФ составил более 600 млн.куб.м. А объём реализации КПГ в России с 2013 по 2017 гг. вырос на 48%.

Объём реализации КПГ и количество АГНКС в России представлены на

рисунке 1.15 [125].

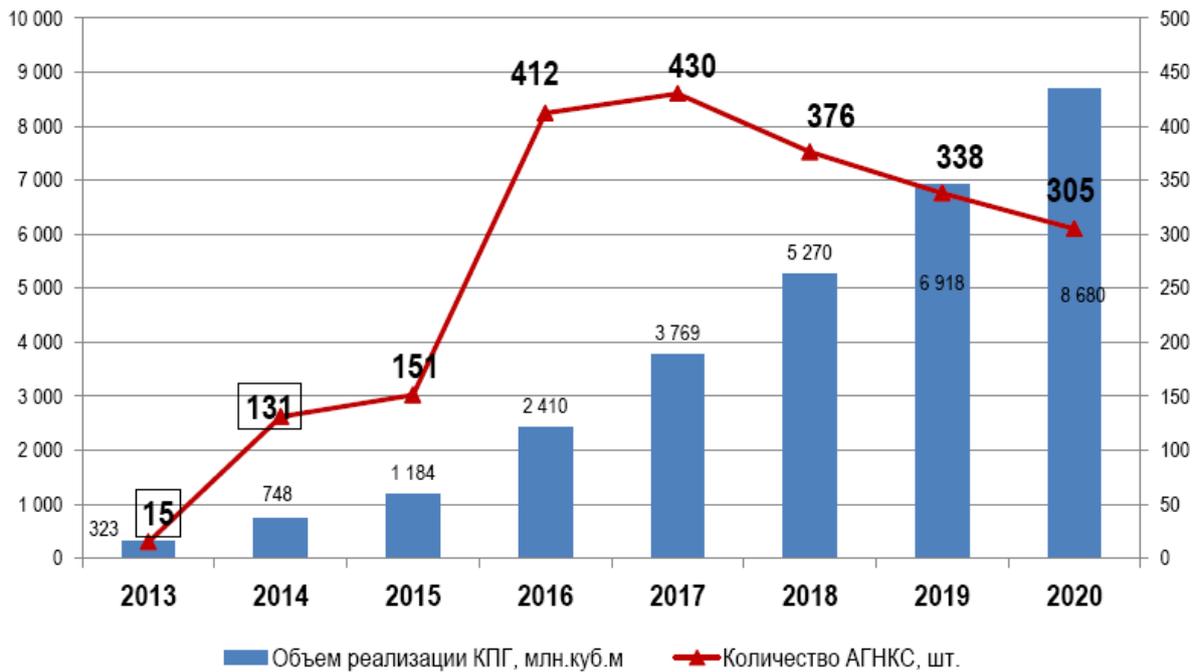


Рисунок 1.15 - Объем реализации КПП и количество АГНКС в России

Несмотря на то, что в России увеличивается объем потребления ГМТ на 10 - 15 % наблюдается острая инфраструктурная недостаточность, связанная с малым числом АГНКС.

Структура парка АГНКС России по единичной производительности станций представлена на рисунке 1.16 [125].

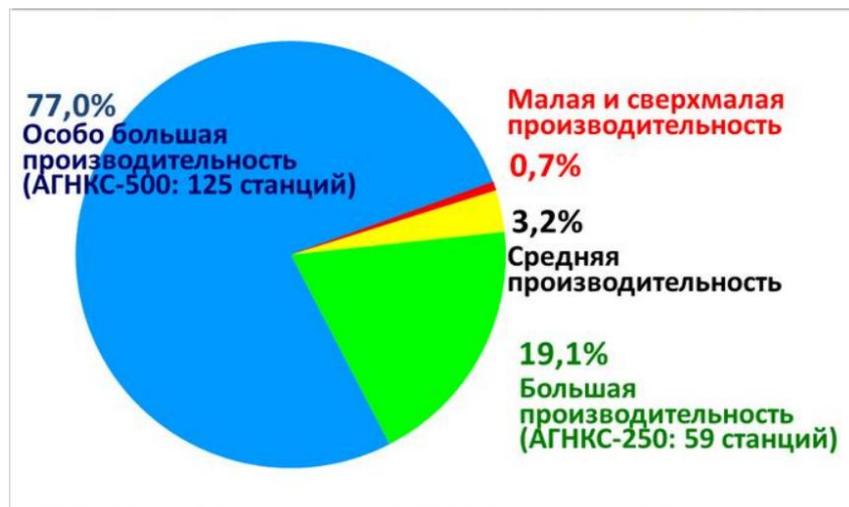


Рисунок 1.16 - Структура парка АГНКС России по единичной производительности станций, млн.м³/год

Общая программа развития газомоторного рынка предполагает

строительство более 2000 объектов газомоторной инфраструктуры по всей России до 2020 года.

19.12.2013 г. был подписан договор о сотрудничестве между ОАО «Газпром» и Санкт-Петербургом в 2014 г., который предусматривал настоящий прорыв в строительстве сети АГНКС в городе и по которому к концу 2014 г. планировалось построить 10 современных заправочных станций - в Василеостровском, Московском, Кировском, Невском и Приморском районах. Этого не произошло и по данным ООО «Газпром газомоторное топливо» в 2015 г. в городе и в области имелось по одной действующей АГНКС (рисунок 1.17) и 6 АГНКС в стадии строительства [121]. Санкт – Петербург вошёл в десятку пилотных регионов по переводу техники на метан и строительства стационарных заправок. Согласно стратегическому проекту «Газпром газомоторное топливо» в городе планируется строительства 25 АГНКС.

В 2018 году в Санкт – Петербурге и Ленинградской области действуют 6 АГНКС и 6 АГНКС на стадии строительства [121].

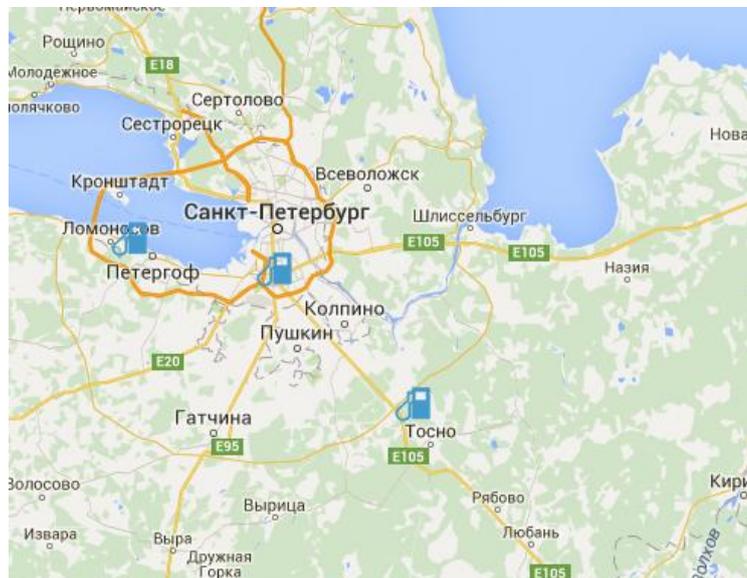


Рисунок 1.17 - АГНКС в Санкт-Петербурге и ЛО

В связи с устойчивой тенденцией увеличения парка автомобилей, работающих на газомоторном топливе, возникает практическая задача по оптимизации инфраструктуры сети заправочных пунктов КПП в таком мегаполисе, которым является Санкт – Петербург. В настоящее время наземный

городской пассажирский транспорт С-Петербурга представлен 783 действующими городскими и пригородными маршрутами. Они обслуживаются 17 предприятиями, среди которых наиболее мощным является ГУП СПб «Пассажиравтотранс» и к 2020 г. объём перевозок населения должен возрасти на 15% [99]. Кроме этого, на территории города активно функционируют 7 предприятий «Спецтранса», выполняющих услуги по вывозу твёрдых бытовых отходов. Суммарная численность автомобильного парка, работающего на ГМТ, указанных предприятий в настоящее время незначительна и составляет около 100 машин. Однако в ближайшие годы этот показатель увеличится многократно. Специфика работы этого транспорта подчиняется и регламентируется установленным режимом (расписанием) и протекает, как правило, в период времени суток с 6:00 до 24:00 часов. Следовательно, заправка таких машин может выполняться только в ограниченное и ночное время в пределах нескольких, чаще всего 4-5 часов. Данное обстоятельство создаёт и подвигает к решению сложную практическую задачу: где, чем и как за столь короткое время обеспечить заправку значительного числа топливоёмких машин?

Решение искомой задачи можно разложить на три составляющие:

- первая заключается в определении необходимого числа и производственных возможностей АГНКС;
- вторая состоит в обосновании географии их размещения, сообразуясь дислокацией основных потребителей КПП;
- третья должна оценить технико-экономический эффект от реализации первых двух.

1.3.1 Анализ асимметрии потребителей ГМТ относительно дислокации АГНКС

Кроме указанных обстоятельств, существенное влияние на перевозку пассажиров имеют приоритетные значения тех или иных автобусных парков Санкт – Петербурга. В этом аспекте можно предложить решение предметной задачи по определению значений коэффициента вариации и показателя

ассиметрии потребителей ГМТ относительно дислокации АГНКС применительно к автобусному паркам ГУП СПб «Пассажиравтотранс». Как свидетельствует практика решения подобных задач допустимые величины указанных коэффициентов и показателей не должны превышать значений 33 – 35%. Исходные данные для рассмотрения данной задачи представлены в таблице 1.3

Таблица 1.3 - Исходные данные

| Автобусные Парки (АП) | №7 | №5 | №1 | Колпинский | №6 | №2 | Итого |
|---|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| Плечо подъезда до АГНКС, l (км) | до 12 | до 18 | до 24 | до 30 | до 36 | до 42 | - |
| Величина удельного приоритета в перевозке пассажиров (f , %) | 30 | 23 | 20 | 5 | 12 | 10 | 100 |

Исходя из данных таблицы 1.3 можно определить, что средний интервал l между плечами заправки потребителей ГМТ и АГНКС составляет 6 километров. Тогда дискретные величины первого и последнего интервалов пробега до АГНКС l будут равны соответственно $(12 + 6)/2 = 9$ и $(42 + 6)/2 = 24$. Учитывая, что $\bar{l} = \frac{\sum l \cdot f}{\sum f}$, и будет равно значению 14,28 км, выполним соответствующие расчёты и сведём их в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 - Расчётные данные

| № Автобусных парков | l | f | lf | $(l - \bar{l})^2 \cdot f$ | $(x - \bar{l})^3 \cdot f$ | $(x - \bar{l})^4 \cdot l$ |
|---------------------|-----|-----|------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| №7 | 9 | 30 | 270 | -836,4 | -4416 | -23316 |
| №5 | 12 | 23 | 276 | -119,6 | -272,6 | -621,5 |
| №1 | 15 | 20 | 300 | 10,3 | 7,46 | 5,5 |
| Колпино | 18 | 5 | 90 | 69,2 | 257,4 | 957,5 |
| №6 | 21 | 12 | 252 | 542 | 3641,5 | 24471 |
| №2 | 24 | 10 | 240 | 944,8 | 9183 | 89262 |
| Итого | - | 100 | 1428 | 611,3 | 8401 | 90758,5 |

Определим значение моды M_o то есть наиболее встречающегося признака согласно данных таблице 1.4

$$M_o = l_{mo} + i \cdot \frac{f_{\max} - f_{\max-1}}{(f_{\max} - f_{\max-1}) + (f_{\max} - f_{\max+1})}, \quad (1.1)$$

где l_{MO} - начальное значение интервала пробега, км;

i - величина модального интервала пробега, км;

f_{\max} - максимальное значение приоритета автобусного парка;

$f_{\max-1}$ - последующая величина приоритета;

$f_{\max+1}$ - предыдущее значение приоритета (в данном случае оно равно нулю).

В нашей задаче величина моды (M_o) содержится в интервале пробега автобусов до АГНКС от 12 до 18 км, т.к. у неё имеется наибольший приоритет в перевозках пассажиров, то есть $f_{\max} = 30$. Тогда значение моды, исходя из формулы (1.16), будет равно:

$$M_o = 12 + 6 \cdot \frac{30 - 23}{(30 - 23) \cdot (30 - 0)} = 13,4 \text{ км}$$

Найдём среднее квадратичное отклонение пробега автобусов до АГНКС, σ , км:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(l - \bar{l})^2 \cdot f}{\sum f}} = \sqrt{\frac{611,3}{100}} = 6,12 \text{ км} \quad (1.2)$$

Дисперсия пробега до АГНКС, σ^2 , км, составит:

$$\sigma^2 = 6,12^2 = 37,45 \text{ км}$$

Тогда коэффициент вариации по плечам заправки автобусов до АГНКС, V будет равен:

$$V = \frac{\sigma \cdot 100}{\bar{l}} = \frac{6,12 \cdot 100}{14,28} = 48,9\% \quad (1.3)$$

Показатель асимметрии A между источником заправки (АГНКС) и основными потребителями ГМТ (автобусными парками) определится по зависимости:

$$A = \frac{M_{\text{ц}}}{\sigma^3} \cdot 100, \% \quad (1.4)$$

где $M_{\text{ц}}$ - центральный момент третьего порядка.

$$M_{ц} = \frac{\Sigma(l - \bar{l})^3 \cdot f}{\Sigma f} = \frac{8401}{100} = 84,01_{км} \quad (1.5)$$

По выражению (1.18) находим показатель асимметрии АГНКС относительно основных потребителей ГМТ:

$$A = \frac{84,01}{229} \cdot 100 = 37\%$$

Выполненные расчёты убедительно доказывают, что сеть АГНКС относительно потребителей ГМТ имеет запредельные значения коэффициента вариации и показателя асимметрии по плечам заправки автобусов. Величина коэффициента вариации составляет $V = 48,9\%$ (почти 50%) и показателя асимметрии $A = 37\%$ против допустимых 33 – 35 %.

Таким образом, при реализации проекта по формированию инфраструктуры АГНКС в качестве рекомендаций можно предложить выполнить соответствующие расчёты, исходя из географии их расположения относительно основных потребителей ГМТ по критерию коэффициента их вариации, что в конечном итоге, определит минимизацию затрат времени и средств на заправку автомобилей.

Чтобы обеспечить потребности в заправке автомобилей в ближайшие 3 - 5 лет в Санкт-Петербурге предпочтительно ввести в строй 12 – 15 АГНКС. Указанное «узкое место» следует ликвидировать в ближайшее время и тем самым обеспечить реализацию Программы Правительства РФ [100]. С этой целью ООО «Газпром газомоторное топливо», как единый оператор по развитию данного рынка в РФ, планирует получить в Санкт - Петербурге 17 участков земли под строительство АГНКС [101]. Однако на этом пути возникает ряд существенных проблем. Во – первых, работу затрудняют многочисленные и длительные сроки согласования с надзорными органами. Так, при вводе в эксплуатацию одной АГНКС необходимо соблюсти требования 72-х проектных, землеустроительных, изыскательских и других нормативных документов. Во – вторых, строительство и ввод в эксплуатацию АГНКС требует серьёзных капиталовложений. По данным инженеринговой компании ООО «Стройинвест» расчётная стоимость АГНКС

площадью 6 000 м² с производительностью компрессора 3 * 1500 м³ газа в час и десятью раздаточными постами составляет 157 316 000 рублей, а для малой АГНКС площадью 4 500 м² и производительностью компрессора 600 м³ газа в час и четырьмя раздаточными постами - 80 909 000 рублей (таблица 1.5) [121]. Данные по потреблению КПП газовыми автобусами СПб ГУП «Пассажиравтотранс» показывают значительную динамику его роста (рисунок 1.18). Данное обстоятельство свидетельствует о том, что имеющиеся возможности АГНКС в Санкт – Петербурге не смогут удовлетворить запросы крупных потребителей (их, кроме ГУП «Пассажиравтотранс» и «Спецтранс», около десяти) по заправке КПП.

Учитывая данные реалии и сроки введения АГНКС в строй, при неблагоприятном экономическом и инвестиционном климате в стране для рационального решения задачи полномасштабного обеспечения автомобильного транспорта ГМТ можно использовать автономные передвижные автомобильные газовые заправщики (АПАГЗ).

Таблица 1.5 - Сравнительный расчёт стоимости АГНКС при крупном автопарке и малой АГНКС

| Наименование показателей, виды работ | Сумма с НДС, руб. | |
|--|-----------------------------|-------------|
| | АГНКС при крупном автопарке | Малая АГНКС |
| Подготовительные работы, ПИР, экспертиза (сбор исходных данных, получение актов выбора земельных участков, оформление земельного участка; инженерно-геологические изыскания; проектная и рабочая документация; | 4 900 000 | 4 000 000 |
| Стоимость оборудования, материалов, сооружений | 129 029 000 | 58 943 000 |
| Стоимость работ (монтаж, электрика, канализация, пожаротушение) | 23 387 000 | 17 966 000 |
| Итого | 157 316 000 | 80 909 000 |

Предварительные расчёты свидетельствуют, что применение АПАГЗ достаточно выгодно при низкой плотности сети АГНКС и незначительном парке машин

на начальном этапе их перевода на КПГ.

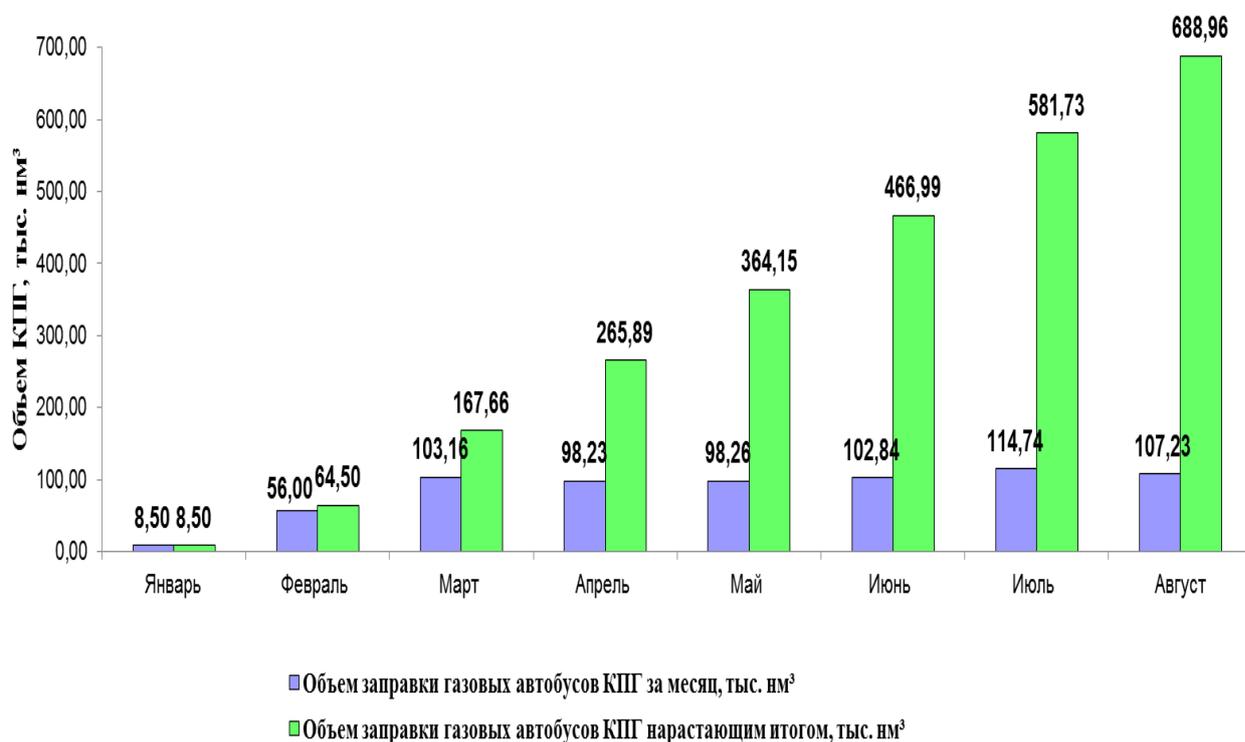


Рисунок 1.18 - Динамика объёмов заправки КПГ автобусов ГУП СПб «Пассажиравтотранс» в 2017 году

При этом стоимость АПАГЗ значительно меньше (в 10 – 15 раз), чем строительство АГНКС и лежит в диапазоне 6,5 – 10 млн. рублей. Наглядным подтверждением тому является передвижной автомобильный газовый заправщик «Титан 4». Он автономен и позволяет транспортировать топливо непосредственно на территорию АТП, что существенно сокращает холостой пробег транспорта до АГНКС. Возможности одного АПАГЗ по объёму КПГ составляют 10,2 тыс.м³, что обеспечивает заправку более 180 машин с ёмкостью газовых баллонов 60 нм³ за 3 – 4 часа. Сам АПАГЗ может заправляться на АГНКС в ночные часы, когда её загруженность минимальна.

Целесообразность применения АПАГЗ с позиции учёта экономических интересов АТП требует более детального анализа, с целью выявления условий, обеспечивающих их эффективное использование. Так, себестоимость перевозок, выполняемых при мобильном способе заправки будет изменяться под воздействием следующих факторов: увеличиваться – из-за роста затрат на использование АПАГЗ и одновременно уменьшаться в результате сокращения

непроизводительных (холостых) пробегов и простоев машин на АГНКС. Планировать количество, производительность и места размещения мобильных средств заправки газом необходимо с учётом оптимального «плеча» заправки перспективных групп автомобилей.

В основу рационального подхода к решению данной задачи должен быть положен критерий «затраты – эффективность». При этом под затратами следует понимать минимизацию предполагаемых вложений, а под эффективностью – снятие проблемы заправки машин КПП с максимальным положительным результатом эксплуатации ГБА.

В качестве наглядного примера можно подробнее рассмотреть лишь один проектный вопрос, касающийся заправки машин газомоторным топливом.

Так в Санкт - Петербурге розничной реализацией газомоторного топлива занимается компания «Газпромнефть» и на данный момент заправить автобус представляется возможным только на АГНКС на Пулковском шоссе. Наличие всего одной АГНКС по заправке машин ГМТ крайне недостаточно и не может удовлетворить как соответствующие потребности, так и обеспечить разветвлённую сеть дорожного движения общественного и личного транспорта.

Такая ограниченность инфраструктуры приводит к тому, что для реализации идеи использования газомоторного топлива на пассажирском транспорте в качестве стартовой площадки для начала нового проекта выбран автобусный парк № 7 СПб ГУП «Пассажиравтотранс», расположенный на Кубинской улице, который пройдёт техническое перевооружение и где будет создана производственно – техническая база, обеспечивающая безопасную эксплуатацию и обслуживание подвижного состава. Однако, число маршрутов, на которые возможен выпуск газовых автобусов, остаётся весьма ограниченным.

Таким образом, можно сделать вывод, что введение многоканальной и, тем более, разветвлённой сети АГНКС для заправок газомоторных машин Санкт - Петербурга является весьма перспективной и эффективной задачей.

1.4 Анализ научных работ в области использования КПП и эксплуатации АГНКС

Использование сжатого природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива – реальная альтернатива традиционным видам дизелю и бензину. Росту мирового рынка способствуют организационные, технические и финансовые меры стимулирования, которые распространяются на водителей, изготовителей газобаллонных транспортных средств, производителей газозаправочного и газоиспользующего оборудования. Рынок использования СПГ в России тоже развивается, но недостаточными темпами. Одной из главных проблем российского рынка СПГ является нехватка АГНКС, их острая инфраструктурная недостаточность, неравномерность их размещения, удалённость от главных транспортных маршрутов.

Автором данной работы был проведён анализ научных исследований, связанных с использованием СПГ и с эксплуатацией АГНКС. В период с 2000 года таких работ оказалось мало. Можно выделить несколько работ по направлению использования газомоторного топлива на транспорте и эксплуатации АГНКС.

Диссертации Бушуева П.В. «Разработка методики нормирования расхода СПГ городскими автобусами, оснащёнными электронной системой управления двигателем» (05.22.10 – Москва, 2007); Коноплева В.Н. «Научные основы проектирования автотранспортных средств, работающих на газомоторных топливах» (05.05.03 – Москва, 2008); Иванова А.С. «Приспособление газодизельных автомобилей к низкотемпературным условиям эксплуатации и массе перевозимого груза по расходу топлива и токсичности отработавших газов» (05.22.10 – Тюмень, 2011); Пенкина А.Л. «Методика улучшения эксплуатационных показателей автомобильных газодизелей повышением однородности и равномерности подачи газозооной смеси» (05.22.10 – Санкт-Петербург, 2012); Володина В.В. «Повышение эффективности использования газобаллонных тракторов совершенствованием системы подачи газозооной смеси» (05.22.10 – Санкт-Петербург, 2012);

топлива» (05.20.03 – Саратов, 2013) и др. связаны непосредственно с эксплуатацией автомобилей работающих на ГМТ и направлены на улучшение эксплуатационных показателей и повышение эффективности их эксплуатации.

Диссертации Чебоксарова В.И. (05.02.13 – Москва, 2004) «Разработка методов снижения затрат электроэнергии при производстве КПП на АГНКС»; Скосарь Ю.Г. «Совершенствование технологии глубокой осушки природного газа» (05.17.07 – Москва, 2007); Люгай С.В. «Повышение эффективности сжижения природного газа на газораспределительных станциях магистральных газопроводов» (25.09.19, 05.02.13 – Москва, 2010); Кондаурова С.Ю. «Совершенствование технологии адсорбционной осушки и отбензинивания природного газа» (05.17.07 – Санкт-Петербург, 2012) и др. связаны с совершенствованием работы технологического оборудования и установок и улучшением экономических показателей АГНКС.

В диссертации Ровнера Геннадия Михайловича « Исследование и разработка промышленного комплекса по производству и реализации газомоторного топлива» (05.04.07 - Москва, 2000) предложены направления поэтапного повышения эффективности газомоторизации страны: переход на строительство мелких газозаправочных станций мощностью 125,75 и 50 заправок автомобилей в сутки (имеющиеся в стране и построенные в 80 - 90-х годах мощные газозаправочные станции из-за распылённости автохозяйств по территории и редкой сети АГНКС не могли быть полностью загружены и выведены на паспортный режим работы); создание на базе мощных АГНКС-250 и АГНКС-500 газозаправочных комплексов, с целью увеличения загрузки и эффективности станций с использованием мобильных средств заправки транспорта. В итоге выполнения этой диссертационной работы: создан первый отечественный газозаправочный комплекс; создан первый отечественный передвижной автогазозаправщик (ПАГЗ) и разработан их типоразмерный ряд; предложена рациональная система функционирования газозаправочных комплексов и заправки газозаправщиков (ПАГЗов) на АГНКС.

Тема диссертации Гаркушиной Светланы Валерьевны «Управление

использованием и развитием инфраструктуры альтернативного топлива для автотранспорта в регионе» (08.00.05 - Владимир, 2010) направлена на решение проблем развития организационно – экономического механизма управления обеспечением газовым топливом автомобильного транспорта и создания для этого соответствующей современной инфраструктуры в Костромском регионе при разработке целевой программы « Программа развития системы обеспечения сжиженным газом транспорта Костромской области». Диссертация затрагивает эколого - экономические и организационные проблемы топливообеспечения автотранспорта и защищена на соискание учёной степени кандидата экономических наук.

Диссертация Коклина Ивана Максимовича «Развитие региональных систем газоснабжения для обеспечения потребителей газомоторным топливом» (25.00.19 - Москва, 2012 г.) посвящена разработке научных основ создания систем газоснабжения, обеспечивающих выполнение государственных программ газовой моторизации автомобильного транспорта и сельскохозяйственной техники. Произведено комплексное исследование влияния технологических, технических, экономических и организационных параметров на эффективность функционирования системы обеспечения газомоторным топливом, на повышение эффективности эксплуатации АГНКС, разработана методика создания систем газоснабжения автотранспорта и сельхозтехники и вынесены рекомендации по их применению. Работа имела важное значение для выполнения « Целевой комплексной программы развития газозаправочной сети и парка техники, работающей на природном газе на 2007 - 2015 годы (Приказ ОАО «Газпром» № 71 от 20.03.2007 г.) и способствовала повышению устойчивости развития агропромышленного комплекса России.

Можно выделить диссертацию Маленкиной Ирины Фёдоровны «Повышение эффективности эксплуатации автомобильных газонаполнительных компрессорных станций» (25.00.19 – Москва, 2005). Целью работы являлось научно – методическое обоснование критериев размещения АГНКС и методов повышения эффективности их эксплуатации. Были определены критерии

размещения АГНКС и приоритеты при реализации программ газификации автотранспорта с учётом региональных условий. Построена математическая модель межотраслевой системы комплексов «производитель – потребитель КПП» в составе: АГНКС –ПАГЗ – АТП. Разработаны и научно обоснованы критерии размещения АГНКС (ПАГЗ) для развития существующей сети АГНКС с учётом региональных особенностей. Результаты исследований внедрены в региональные программы перевода АТ на КПП и строительства АГНКС в Алтайском крае, Ямало-Ненецком Автономном округе, Республике Чувашия, Воронежской, Томской, Московской, Волгоградской областях, городах Москва, Тверь.

Особо можно отметить публикации в журнале «Транспорт на альтернативном топливе» (№3 (33) – 2013) к.т.н. Евстифеева А.А, начальника лаборатории моделирования процессов использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ». В статье «Модель прогнозирования потребления газового моторного топлива в населённом пункте» проанализированы факторы, влияющие на определение целесообразности и формы организации снабжения ГМТ потребителей в конкретном районе, области или населённом пункте. Описана «Математическая модель процесса заправки транспортных средств КПП на АГНКС» (№ 1 (37) – 2014). В статье «Методология рационального построения и непрерывного совершенствования региональной сети АГНКС» (№3 (39) – 2014) представлена методология рационального построения и непрерывного совершенствования региональной сети АГНКС, а также способы повышения эффективности управления процессами и объектами сети. В статье «Структурный синтез и алгоритмы решения для математической модели системы газовой заправки транспорта и газоснабжения автономных потребителей» (№1 (25) – 2015) рассмотрены вопросы и предложены подходы к решению задачи определения наиболее рационального способа развития и мест размещения объектов газозаправочной инфраструктуры с помощью структурного синтеза и алгоритмов принятия решения для математической модели.

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, применительно к Санкт – Петербургу с перспективой до 2023 г. Именно поэтому Правительством РФ в целях повышения энергоэффективности и конкурентоспособности транспортного комплекса страны определены регионы для решения государственной задачи по форсированному созданию газомоторной инфраструктуры и Санкт - Петербург вошёл в десятку данных пилотных проектов [97].

Таким образом, тема диссертационного исследования по моделированию и формированию инфраструктуры АГНКС СПб является актуальной и имеет большое практическое значение.

Выводы по первой главе

Для эффективного решения масштабной по значимости задачи по переводу автотранспортных средств на ГМТ в аспекте распоряжения Правительства Российской Федерации «О расширении использования природного газа в качестве моторного топлива» необходимо выполнить соответствующие научные исследования, что позволило бы рационально определить количество, места размещения и производственные возможности АГНКС применительно к Санкт – Петербургу на перспективу до 2023 г.

Анализ показал, что несмотря на то, что в России увеличивается объём потребления ГМТ существует острая инфраструктурная недостаточность АГНКС, связанная с их малым числом в Санкт - Петербурге, что создаёт значительные проблемы для заправки общественного и частного автотранспорта. Прежде всего, они проявляются в ассиметричном размещении АГНКС относительно расположения основных потребителей ГМТ, что существенно увеличивает плечи заправок ГБА, а также недостаточными производственными возможностями. Это

влечёт за собой нерациональные временные и материальные издержки при эксплуатации ГБА.

На первом этапе исследования, для успешного решения задачи по переводу работы АТ на ГМТ необходимо привлечь специалистов, обладающих большим опытом в соответствующей сфере для проведения экспертной оценки факторов, влияющих на эксплуатацию ГБА. В результате экспертизы будет определено число таких факторов, произведено их дифференцирование, т.е. ранжирование каждого из них по степени важности, а также выявлена и описана корреляционная зависимость между ними. Одновременно с этим будет определён наиболее значимый фактор, который влияет на возможность и эффективность перевода работы АТ на ГМТ.

На базе полученных результатов необходимо разработать многовариантную математическую модель развития инфраструктуры АГНКС с научным обоснованием критериев рационального её размещения и формирования для достижения наибольшей эффективности с учётом территориальной плотности, ёмкости потребления КППГ, возможностей АГНКС, минимизации плеч заправки потребителей ГМТ и транзитных автотранспортных потоков с перспективой до 2023 года.

ГЛАВА 2. ПОРЯДОК ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОЗАПРАВОЧНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА (НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)

2.1 Экспертная оценка факторов, влияющих на эксплуатацию газомоторных автомобилей

Экспертная оценка – это процедура получения оценки проблемы на основе персонального мнения специалиста (эксперта) или коллективного мнения группы экспертов с целью последующего принятия решения (выбора). *Эксперт* – компетентное для выработки оценки лицо, имеющее специальный опыт в конкретной области и участвующее в исследовании в качестве источника получения информации. *Сущность экспертной оценки* заключается в том, что в основу принятого решения (вывода) закладывается мнение специалиста или коллектива специалистов, основанное на их знаниях и практическом профессиональном опыте.

Эффективное решение масштабной проблемы перевода автотранспортных средств на газомоторное топливо (ГМТ) в ходе реализации распоряжения Правительства « О расширении использования природного газа в качестве моторного топлива» [100] требует проведения соответствующих научных исследований, а также выявления факторов, влияющих на эксплуатацию ГБА и осуществления их экспертной оценки.

В рамках диссертационной работы была проведена двухуровневая экспертная оценка влияния ряда факторов на эксплуатацию ГБА, с привлечением специалистов, обладающих большим опытом в соответствующей сфере эксплуатации автомобильного транспорта. В состав экспертной группы вошли 5 докторов технических наук, 6 кандидатов технических наук и 2 руководящих работника ГУП СПб «Пассажиравтотранс». При доверительной оценке полученных результатов равной 0,95, число привлекаемых экспертов должно составлять не менее 8 человек [1,77].

Процедура экспертной оценки преследовала решение следующих задач:

- определение интегрального числа возможных факторов F_i , способных влиять на перевод работы АТ на ГМТ;
- дифференцирование, т.е. ранжирование их по степени важности в рамках данного исследования;
- выявление и описание корреляционной зависимости между ними в аналитической форме;
- оценку сходимости полученных результатов между экспертами.

Экспертная оценка включала: постановку цели, подготовку информационных материалов, подборку экспертов, проведение экспертного опроса, обработку его данных и анализа полученных результатов.

На первом этапе была поставлена задача по определению специалистами всего потенциально возможного состава факторов, которые оказывают влияние на перевод работы АТ на ГМТ (интегральный уровень).

Состав факторов:

F1 Наличие инфраструктуры АГНКС для заправки подвижного состава ГМТ и география расположения АГНКС

F2 Возможности инфраструктуры АГНКС и особенности операций по заправке автомобильного транспорта ГМТ

F3 Наличие квалифицированного персонала

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 техническому обслуживанию и ремонту ГБА и охрана труда

Затем было проведено ранжирование этих факторов по 10-ти бальной шкале и выявлены наиболее существенные из них согласно таблице 2.1 (Приложение А).

На втором этапе следовало выявить, какие составляющие являются результирующими по своему воздействию на этот фактор.

Таблица 2.1 - Ранжирование факторов при 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 |
| F3 | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,8 | - | 0,5 | 0,5 | 5,9 |
| F4 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 1,2 | 1,0 | - | 0,5 | 5,0 |
| F5 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 1,0 | 0,8 | 1,4 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,0 | 9,9 |
| F6 | 0,5 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,3 | 0,8 | 1,5 | 0,6 | 1,0 | 9,5 |
| F7 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | - | 0,5 | 0,8 | 0,2 | 0,5 | - | - | 3,0 |

При обработке и анализе результатов экспертной оценки была проведена дифференциация факторов и были выявлены четыре наиболее значимых из них (таблица 2.1):

F1 Наличие инфраструктуры и география расположения АГНКС – 36,9 бала

F2 Возможности инфраструктуры АГНКС и особенности операций по заправке ГБА - 29,4 бала

F5 Особенности выполнения операций по техническому обслуживанию и ремонту ГБА – 9,9 бала

F6 Соответствие производственно-технической базы автотранспортного предприятия эксплуатации ГБА – 9,5 бала.

В тоже время из перечисленных четырёх факторов в ранге ранжирования абсолютным приоритетом обладают F1 и F2, а остальные по своим значениям кратно разнятся с первыми.

На втором этапе экспертной оценки специалисты определили ранги взаимосвязи факторов F1 и F2 с остальными в виде матрицы, представленной в таблице 2.2. Из неё следует, что наиболее существенными связями между собой обладают факторы F1 и F2 (по 7 и 6,5 баллов соответственно).

Таблица 2.2 - Матрица взаимосвязи факторов F1, F2

| | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | Σ |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| F1 | - | 7,0 | 0,4 | 0,6 | 1,5 | 0,4 | 0,1 | 10 |
| F2 | 6,5 | - | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 0,8 | 0,3 | 10 |

Результаты обработки таблиц 2.1 и 2.2 дают возможность построить корреляционную зависимость между факторами и определить наиболее значимые их соотношения с помощью ранговых коэффициентов корреляции Спирмена. Полное ранжирование факторов по их экспертной оценке приведено в Приложении А.

Положительный результат проверки согласованности означает равномерную распределённость мнений экспертов на множестве всех ранжировок [77].

Ранговый коэффициент корреляции Спирмена $\rho_{jl}^{(S)}$ служит для определения степени взаимосвязи результатов ранжирования между экспертами j и l и оценивает связь между признаками, т.е. между рангами, представленными в столбцах $X^{(j)} = (x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, \dots, x_n^{(j)})$ и $X^{(l)} = (x_1^{(l)}, x_2^{(l)}, \dots, x_n^{(l)})$ таблицы 2.1 [1].

Принимается, если: $\rho_{jl}^{(S)} \leq 0,3$ – уровень корреляционной связи слабый; $0,4 \leq \rho_{jl}^{(S)} \leq 0,7$ - умеренный; $\rho_{jl}^{(S)} \geq 0,7$ – высокий.

Коэффициент корреляции Спирмена относится к методам *непараметрического анализа*, поэтому проверка на нормальность распределения данных не требуется. Эффективность и качество оценки коэффициента Спирмена снижается, если разброс между значениями полученных результатов достаточно велик.

В нашем случае число факторов $n = 7$, а количество экспертов $k = 10$ и присутствуют объединённые ранги.

Таким образом, у третьего эксперта ($j = 3$) объединённых рангов нет, у экспертов $j = 1, 2, 4 - 7$ и 9 присутствует одна группа с совпадающими рангами, у эксперта $j = 8$ таких групп две, а у последнего эксперта $j = 10$ – три. Значения

коэффициентов ранговой корреляции представлены в таблице 2.3

Таблица 2.3 - Коэффициент ранговой корреляции Спирмена

| Эксперты i, l | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| 1 | 1 | 0.879 | 0.883 | 0.918 | 0.864 | 0.855 | 0.782 | 0.734 | 0.982 | 0.945 |
| 2 | 0.879 | 1 | 0.889 | 0.954 | 0.972 | 0.916 | 0.692 | 0.925 | 0.935 | 0.952 |
| 3 | 0.883 | 0.889 | 1 | 0.865 | 0.883 | 0.739 | 0.667 | 0.764 | 0.883 | 0.899 |
| 4 | 0.918 | 0.954 | 0.865 | 1 | 0.873 | 0.836 | 0.845 | 0.927 | 0.927 | 0.982 |
| 5 | 0.864 | 0.972 | 0.883 | 0.873 | 1 | 0.945 | 0.555 | 0.826 | 0.936 | 0.898 |
| 6 | 0.855 | 0.916 | 0.739 | 0.836 | 0.945 | 1 | 0.564 | 0.789 | 0.927 | 0.871 |
| 7 | 0.782 | 0.692 | 0.667 | 0.845 | 0.555 | 0.564 | 1 | 0.771 | 0.709 | 0.796 |
| 8 | 0.734 | 0.925 | 0.764 | 0.927 | 0.826 | 0.789 | 0.771 | 1 | 0.780 | 0.897 |
| 9 | 0.982 | 0.935 | 0.883 | 0.927 | 0.936 | 0.927 | 0.709 | 0.780 | 1 | 0.954 |
| 10 | 0.945 | 0.952 | 0.899 | 0.982 | 0.898 | 0.871 | 0.796 | 0.897 | 0.954 | 1 |

Здесь курсивом с перечёркиванием обозначены статистически незначимые значения коэффициента корреляции (уровень значимости $\alpha = 0,05$).

В целом полученные результаты показывают хорошую сходимость мнений экспертов между собой, за исключением седьмого эксперта.

2.2 Регрессионный анализ факторов экспертной оценки

Если предположить, что можно рассматривать экспертные баллы (оценки) факторов F_1, F_2, \dots, F_7 в качестве их ответствующих уровней, то появляется возможность построения уравнения множественной регрессии, показывающее функциональную зависимость между одним из этих факторов, выбранным в качестве результирующего признака, и остальными, считающимися объясняющими признаками. Таким образом, будем считать, что в приведённой таблице исходных данных $n = 10$ экспертных оценок являются измеренными уровнями $k_0 = 7$ факторов F_1, F_2, \dots, F_7 (таблица 2.4). Факторы расположены в порядке убывания суммы баллов, приведённой в последнем столбце таблицы. Видно, что факторы F_1 и F_2 приоритетны, ибо они характеризуются максимальными суммарными баллами.

Таблица 2.4 - Исходные данные (экспертные баллы) для уравнения регрессии

| эксперт/ факторы | 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 |
| F5 | 1 | 0.8 | 0.7 | 1 | 0.8 | 1.4 | 1 | 1 | 1.2 | 1 | 9.9 |
| F6 | 0.5 | 1.2 | 1 | 1 | 1.5 | 1.3 | 0.8 | 1.5 | 0.6 | 1 | 9.5 |
| F3 | 0.5 | 0.5 | 0.8 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.8 | 0 | 0.5 | 0.5 | 5.9 |
| F4 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 0.1 | 1.2 | 1 | 0 | 0.5 | 5 |
| F7 | 0.2 | 0.5 | 0.3 | 0 | 0.5 | 0.8 | 0.2 | 0.5 | 0 | 0 | 3 |

Так как факторы $F1$ и $F2$ приоритетны, то при построении уравнения регрессии они выбираются в качестве результирующих признаков, а остальные факторы считаются объясняющими признаками, другими словами в дальнейшем следует рассматривать только зависимости между $F1(F2,F3,F4,F5,F6,F7)$ и $F2(F1,F3,F4,F5,F6,F7)$.

Для чего введём обозначения:

y_i – значения экспертных баллов результирующих факторов $F1$ или $F2$, $i = 1, 2, \dots, n$;

$x_{j,i}$ – значения экспертных баллов факторов $F2, F3, F4, F5, F6, F7$ или $F1, F3, F4, F5, F6, F7$ соответственно, $j = 1, 2, \dots, k$, $i = 1, 2, \dots, n$;

$n = 10$ – число экспертных оценок (число экспертов);

$k = k_0 - 1 = 6$ – число объясняющих факторов.

Корреляционная зависимость между указанными факторами выражается уравнением множественной линейной регрессии типа [37]:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \beta_6 x_6 + \varepsilon. \quad (2.1)$$

где y – соответствует отклику $F1$;

$\beta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6)^T$ – вектор – столбец параметров регрессионной модели (2.3);

β_0 – соответствуют свободной постоянной;

параметры $\beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ – соответствуют факторам $F2, F3, F4, F5, F6, F7$;

$x_{j,i}$ – значения экспертных баллов факторов $F2, F3, F4, F5, F6, F7$ или

$F1, F3, F4, F5, F6, F7$ соответственно;

число факторов $j = 1, 2, \dots, k$, $i = 1, 2, \dots, n$;

символ T – операция транспонирования;

ε - вектор остатков регрессии (ошибок);

$\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_{10})^T$ – вектор – столбец случайных возмущений;

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_{10})^T$ – вектор – столбец значений (наблюдений) результирующей переменной.

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{1,1} & x_{2,1} & \dots & x_{6,1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{1,10} & x_{2,10} & \dots & x_{6,10} \end{pmatrix} \quad - \quad \text{матрица значений (наблюдений)}$$

объясняющих переменных;

Теперь уравнение (2.1) можно представить в виде:

$$Y = X\beta + \varepsilon. \quad (2.2)$$

Компоненты вектора $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_{10})^T$ определяются соотношением

$$e_i = y(X_i) - y_i, \quad (2.3)$$

где X_i - результат i -го наблюдения объясняющих факторов.

Коэффициент детерминации R^2 является универсальным показателем степени тесноты статистической связи,

$$R^2 = \frac{Q_{reg}}{Q_{tot}} = 1 - \frac{Q_{err}}{Q_{tot}}, \quad (2.4)$$

где Q_{reg} – сумма квадратов отклонений;

Q_{err} – остаточная сумма квадратов отклонений;

Q_{tot} - общая сумма квадратов отклонений.

Величина коэффициента детерминации R^2 механически возрастает при увеличении числа объясняющих переменных.

Тогда уравнение регрессии фактора $F1$ по факторам $F7, F6, F5, F4, F3, F2$ примет следующий вид

$$y_i = -1,546x_{7,i} - 1,002x_{6,i} - 0,614x_{5,i} - 0,288x_{4,i} - 0,518x_{3,i} - 1,101x_{2,i} + 9,006.$$

Сумма квадратов отклонений, обусловленная регрессией и остаткам составит:

$$Q_{reg} = 2,427; \quad Q_{err} = 0,062.$$

Коэффициент детерминации будет равен:

$$R^2 = 0,98.$$

В результате анализа всех возможных вариантов представляется целесообразным построить две парные регрессионные зависимости: $F1$ на $F2$ и $F1$ на $F5$.

Уравнение парной регрессии фактора $F1$ на фактор $F2$ (переменная x_1), будет иметь вид:

$$y_i = -1,232x_{1,i}.$$

Здесь

$$Q_{reg} = 133,2; \quad Q_{err} = 5,492, \quad R^2 = 0,96.$$

Таким образом, данные уравнение регрессии и коэффициент регрессии статистически значимы.

Уравнение парной регрессии фактора $F1$ на фактор $F5$ (переменная x_4) имеет вид:

$$y_i = 3,562x_{4,i}.$$

Здесь

$$Q_{reg} = 129,1; \quad Q_{err} = 9,583, \quad R^2 = 0,93.$$

Из этих результатов следует, что уравнение регрессии и коэффициент регрессии статистически значимы.

На рисунке 2.1 приведены исходные данные уравнения регрессии и соответствующая динамика изменения значений фактора $F1$.

Кроме этого, анализируя регрессию фактора $F2$ на факторы $F7, F6, F5, F4, F3, F1$ удалось получить три значимых варианта уравнения: регрессия $F2$ на $F6, F5, F1$; $F2$ на $F5, F1$ и естественно $F2$ на $F1$.

Используются обозначения, переменная x_1 соответствует фактору $F1$, $x_2 - F5$, $x_3 - F6$, $y - F2$.



Рисунок 2.1 - Динамика варьирования значений фактора $F1$ по уравнению регрессии

Уравнение регрессии фактора $F2$ на факторы $F6, F5$ и $F1$ имеет вид:

$$y_i = 0,443x_{3,i} + 1,405x_{2,i} + 0,293x_{1,i}.$$

Здесь

$$Q_{reg} = 86,50; \quad Q_{err} = 1,157, \quad R^2 = 0,99.$$

Отсюда следует, что в целом уравнение регрессии статистически значимо, т.е адекватно описывает имеющиеся данные.

Уравнение регрессии фактора $F2$ на факторы $F5$ и $F1$ имеет вид:

$$y_i = 1,691x_{2,i} + 0,337x_{1,i}.$$

Здесь

$$Q_{reg} = 86,20; \quad Q_{err} = 1,462, \quad R^2 = 0,983.$$

Отсюда следует, что в целом уравнение регрессии статистически значимо, т.е адекватно описывает имеющиеся данные.

Уравнение регрессии $F2$ на $F1$ фактически имеет вид:

$$y_i = 0,779x_{1,i}.$$

Статистическая значимость этого уравнения фактически было рассмотрено выше, в виде уравнения регрессии $F2$ на $F1$.

Таким образом, в результате выполненных расчётов и проведённого анализа выявлена достаточно тесная корреляционная зависимость между результирующим фактором $F1$, который предполагает наличие инфраструктуры, т.е. географию расположения АГНКС и фактором $F2$ возможности этой

инфраструктуры и особенности операций по заправке ГБА, а также $F5$, который оценивает особенности выполнения операций по техническому обслуживанию и ремонту ГБА.

На рисунке 2.2 приведены исходные данные и уравнение регрессии для фактора $F2$.

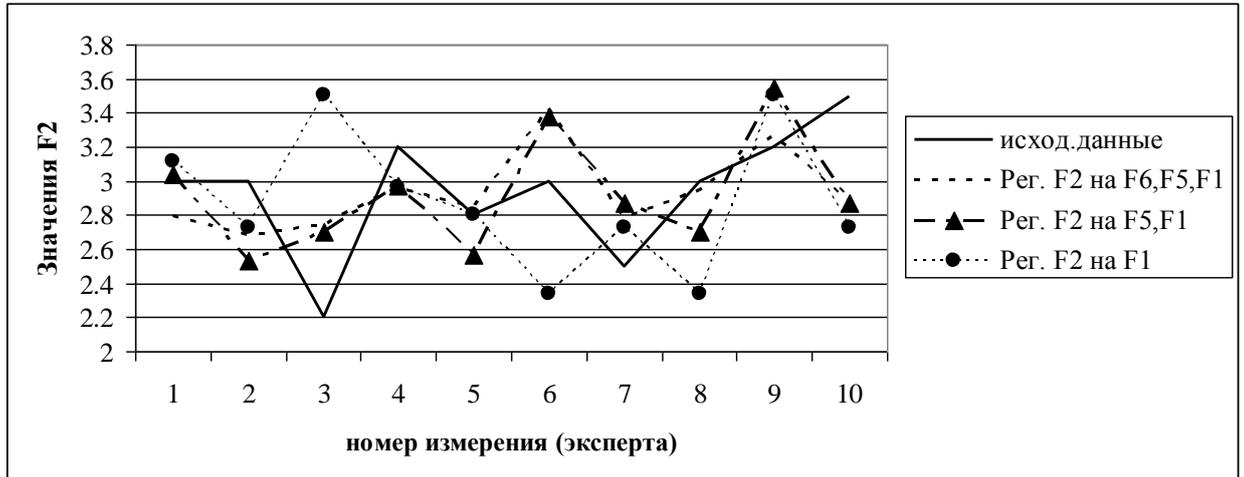


Рисунок 2.2 - Данные варьирования значений фактора $F2$ по уравнению регрессии

На основании этого выведено соответствующее уравнение регрессии, адекватно описывающее указанные межфакторные взаимосвязи, что позволяет в дальнейшем провести технико – экономические изыскания в рамках данного исследования. Наиболее значимым фактором, влияющим на перевод эксплуатации автомобильного транспорта на ГМТ, является наличие инфраструктуры АГНКС.

Все цели, поставленные перед экспертной оценкой, в рамках данного исследования достигнуты.

2.3. Прогнозирование газомоторного рынка Санкт – Петербурга до 2023 года на основе регрессионной модели суточного потребления автотранспортом ГМТ

Для России с её крупнейшими запасами природного газа развитие рынка газомоторного топлива является стратегической задачей. В свете Распоряжение

Правительства РФ [100] (от 13.05.2013 г. № 767- р) по вопросам использования природного газа в качестве моторного топлива в целях повышения энергоэффективности и конкурентоспособности транспортного комплекса РФ определены регионы для решения данной государственной задачи по форсированному строительству газомоторной инфраструктуры. Санкт - Петербург вошёл в десятку пилотных регионов по переводу АТ на газомоторное топливо (ГМТ).

Нацеленность государственной политики на экономию средств, делает особо актуальным вопрос дешёвого (по сравнению с традиционными видами топлива) и экологически чистого ГМТ. В соответствии с «Программой» внедрения ГМТ в автотранспортном комплексе СПб на 2014 - 2023 годы планируется увеличение использующего газомоторное топливо автобусного и грузового автотранспорта в городских автохозяйствах [101]. Предполагаемое по Программе увеличение парка ГБА приведено в таблицах 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5 – Динамика роста числа грузовых автомобилей, использующих ГМТ, ед.

| Год | Новые грузовики | Всего новых грузовиков | Транзитные грузовики | Всего <i>KI</i> |
|------|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| 2014 | 2 | 2 | – | 2 |
| 2015 | 12 | 14 | – | 14 |
| 2016 | 14 | 28 | 1 | 29 |
| 2017 | 257 | 285 | 9 | 294 |
| 2018 | 312 | 597 | 18 | 615 |
| 2019 | 385 | 982 | 29 | 1011 |
| 2020 | 409 | 1391 | 42 | 1433 |
| 2021 | 178 | 1569 | 47 | 1616 |
| 2022 | 180 | 1749 | 52 | 1801 |
| 2023 | 180 | 1929 | 58 | 1987 |

Таблица 2.6 – Динамика роста числа автобусов, использующих ГМТ, ед.

| Год | Новые автобусы | Всего новых автобусов | Транзитные автобусы | Всего К2 |
|------|----------------|-----------------------|---------------------|----------|
| 2014 | 174 | 174 | 5 | 179 |
| 2015 | 39 | 213 | 6 | 219 |
| 2016 | 88 | 301 | 9 | 310 |
| 2017 | 162 | 463 | 14 | 477 |
| 2018 | 162 | 625 | 19 | 644 |
| 2019 | 163 | 788 | 24 | 812 |
| 2020 | 163 | 951 | 29 | 980 |
| 2021 | 144 | 1095 | 33 | 1128 |
| 2022 | 154 | 1249 | 37 | 1286 |
| 2023 | 156 | 1405 | 42 | 1447 |

Это обстоятельство повлечёт за собой увеличение потребности в ГМТ.

При оценке объёма потребляемого ГМТ предполагается, что грузовик проезжает в сутки 100 – 150 км и потребляет при этом 35 – 50 м³ ГМТ, время заправки грузовика t_1 составляет 0,25 – 0,417 час. Суточный пробег автобуса составляет 200 – 250 км, он потребляет ГМТ в объёме 140 – 180 м³ и время заправки t_2 составляет 0,33 – 0,50 час [125]. Для более полного учёта использования ГМТ также следует рассматривать легковые автомобили, приблизительный суточный пробег которых, составляет 50 – 60 км, потребляют 5-6 м³ и тратят на заправку $t_3 = 0,16 – 0,25$ час [125]. Диапазон количества ежесуточно заправляемого газа представлен в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Диапазон количества ежесуточно заправляемого газа

| Кол-во автомобилей | Объём газа, м ³ /сут |
|--------------------|---------------------------------|
| 75 – 100 | 4000 -8000 |
| 100 - 140 | 5000 – 10000 |
| 150 - 180 | 9000 – 16000 |
| 200 -250 | 12000 – 24000 |
| 250 - 310 | 18000-36000 |
| 300 – 400 | 24000 – 48000 |
| 350 - 460 | 30000 – 60000 |
| 450 – 550 | 36000 – 72000 |

Исходя из этого, для рассматриваемых в Программе категорий АТ (грузовики и автобусы) получаем оценки суточного потребления ГМТ в будни дни, исходя из минимального и максимального пробега соответственно. Оценки минимального и максимального суточного потребления ГМТ (м³) грузовыми автомобилями и автобусами в будни дни при условии, что их численность увеличивается в соответствии с Программой, приведены в таблицах 2.8 и 2.9.

Таблица 2.8 - Минимальное и максимальное суточное потребление ГМТ грузовыми автомобилями, м³

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого V _{гр} , м ³ | |
|------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|--|--------------------|
| | из расчета 100 км/сут | из расчета 150 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 2014 | 70 | 100 | – | 70 | 100 |
| 2015 | 490 | 700 | – | 490 | 700 |
| 2016 | 980 | 1400 | 42 | 1022 | 1442 |
| 2017 | 9975 | 14250 | 428 | 10403 | 14678 |
| 2018 | 20895 | 29850 | 895 | 21791 | 30746 |
| 2019 | 34370 | 49100 | 1473 | 35843 | 50573 |
| 2020 | 48685 | 69550 | 2087 | 50772 | 71637 |
| 2021 | 54915 | 78450 | 2354 | 57269 | 80804 |
| 2022 | 61215 | 87450 | 2624 | 63839 | 90074 |
| 2023 | 67515 | 96450 | 2894 | 70409 | 99344 |

Таблица 2.9 - Минимальное и максимальное суточное потребление ГМТ автобусами, м³

| Год | Резиденты, м ³ | | транзит, м ³ | Итого V _{авт} , м ³ | |
|------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|---|--------------------|
| | из расчета 200 км/сут | из расчета 250 км/сут | | минимальный объем | Максимальный объем |
| 2014 | 24360 | 31320 | 940 | 25300 | 32260 |
| 2015 | 29820 | 38340 | 1150 | 30970 | 39490 |
| 2016 | 42140 | 54180 | 1625 | 43765 | 55805 |
| 2017 | 64820 | 83340 | 2500 | 67320 | 85840 |
| 2018 | 87500 | 112500 | 3375 | 90875 | 115875 |
| 2019 | 110320 | 141840 | 4255 | 114575 | 146095 |
| 2020 | 133140 | 171180 | 5135 | 138275 | 176315 |
| 2021 | 153300 | 197100 | 5913 | 159213 | 203013 |
| 2022 | 174860 | 224820 | 6745 | 181605 | 231565 |
| 2023 | 196700 | 252900 | 7587 | 204287 | 260487 |

В связи с этим данная «Программа» предусматривает строительство и ввод в строй новых АГНКС, оценку возможного объема потребления ГМТ исходя из

категорий ТС и числа АТ СПб в течении периода по «Программе»(таблица 2.10). Для этой цели, учитывая современное развитие автомобильного транспорта в Санкт – Петербурге, принимается модель прогноза, в которой, в дополнение к «Программе», предусматривается, что ежегодный прирост парка автомобилей, работающих на ГМТ в указанный период может варьироваться в диапазоне от негативного в 1% до прогрессивного уровня в 9% ежегодно.

По данным ГИБДД на 2017 год в Санкт – Петербурге на учёте состояло и работали на ГМТ 1899 грузовых автомобилей, 174 автобусов и 1942 легковых автомобилей (таблица 2.10) [120].

Таблица 2.10 - Количество транспортных средств, стоящих на учёте в ГИБДД в СПб

| Транспортные средства | Количество |
|----------------------------------|------------|
| Всего ТС | 2 031 138 |
| В том числе на КПП | 4149 |
| Легковые, Грузовые, Автобусы | 1 869 297 |
| В том числе на КПП | 4149 |
| Легковые автомобили | 1 636 336 |
| В том числе на КПП | 1 962 |
| Грузовые: | 213 123 |
| В том числе на КПП | 2 013 |
| Кат. N1 (не бол.3,5 т.) | 165 320 |
| В том числе на КПП | 763 |
| Кат. N2 (3,5т. – 12 т.) | 12 003 |
| В том числе на КПП | 366 |
| Кат. N3 (более 12 т.) | 35 800 |
| В том числе на КПП | 884 |
| Автобусы: | 19 838 |
| В том числе на КПП | 174 |
| Кат.М2 (более 8 мест.,до 5 т.) | 12 098 |
| В том числе на КПП | 62 |
| Кат.М3 (более 8 мест.,более 5т.) | 7740 |
| В том числе на КПП | 112 |

Кроме этого, при оценке уровня потребления ГМТ необходимо учитывать поток транзитного транспорта, объём которого принимается за 3% от численного состава автопарка Санкт - Петербурга. Динамика роста числа ГБА в СПб до 2023 года представлена в Приложении Б и в таблице 2.12, что в последующем позволит определить нижнюю и верхнюю границы объёма потребления ГМТ.

Таблица 2.11 - Прогноз увеличения численности ГБА в СПб до 2023 г.

| Год | Грузовые ГБА | | | | ГМТ Автобусы | | | | Легковые ГБА | | | |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год |
| 2014 | 1958 | 1958 | 1958 | 1958 | 358 | 358 | 358 | 358 | 1839 | 1900 | 1960 | 2001 |
| 2015 | 1990 | 2029 | 2088 | 2146 | 400 | 404 | 409 | 415 | 2021 | 2021 | 2021 | 2021 |
| 2016 | 2024 | 2104 | 2226 | 2353 | 493 | 500 | 511 | 523 | 2041 | 2081 | 2142 | 2203 |
| 2017 | 2309 | 2431 | 2623 | 2826 | 662 | 673 | 690 | 709 | 2061 | 2144 | 2271 | 2401 |
| 2018 | 2650 | 2816 | 3084 | 3376 | 830 | 845 | 870 | 897 | 2082 | 2208 | 2407 | 2617 |
| 2019 | 3067 | 3279 | 3629 | 4021 | 1000 | 1019 | 1051 | 1087 | 2103 | 2274 | 2551 | 2853 |
| 2020 | 3509 | 3768 | 4207 | 4713 | 1170 | 1194 | 1234 | 1280 | 2124 | 2343 | 2704 | 3109 |
| 2021 | 3713 | 4022 | 4557 | 5191 | 1320 | 1348 | 1397 | 1455 | 2145 | 2413 | 2867 | 3389 |
| 2022 | 3919 | 4279 | 4919 | 5699 | 1481 | 1514 | 1572 | 1644 | 2167 | 2485 | 3039 | 3694 |
| 2023 | 4126 | 4539 | 5291 | 6235 | 1643 | 1681 | 1750 | 1836 | 2188 | 2560 | 3221 | 4027 |

Данные о составе газомоторного транспорта позволяет оценить минимальные и максимальные объёмы требуемого ГМТ. При этом предполагается, что усредненные суточные пробеги автотранспорта составляют: для грузовых автомобилей – 100 – 150 км; автобусов – 200 – 250 км и легковых – 50 – 60 км. Потребности в ГМТ: грузовых – 35 – 50 м³; автобусов 140 – 180 м³ и легковых – 5 – 6 м³, со временем заправки (t_i) – грузовых 0,25 – 0,417 час; автобусов - 0,33 – 0,50 час и легковых 0,16 – 0,25 час соответственно на один автомобиль. Оценка суточного минимального и максимального объёмов потребляемого ГМТ для каждого вида автотранспорта на ГМТ представлена в Приложении В.

Общий суточный минимальный и максимальный объём необходимого ГМТ парка ГБА с учётом рассматриваемого диапазона пробега в соответствии с прогнозами и Программой, в зависимости от различных сценариев потребления (от 1 до 9 %) представлен в таблице 2.12.

Таблица 2.12 - Динамика суточного потребления ГМТ для всех АТ на, (м³)

| Год | Прогноз 1%+ Прогр. | | Прогноз 3%+ Прогр. | | Прогноз 6%+ Прогр. | | Прогноз 9%+ Прогр. | |
|------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|-----------------------|--------|
| | min V | max V |
| 2014 | 92146 | 92146 | 91942 | 127579 | 91637 | 127215 | 91333 | 126851 |
| 2015 | 94865 | 94865 | 96379 | 133772 | 98648 | 136974 | 100918 | 140177 |
| 2016 | 99454 | 99454 | 102744 | 142687 | 107793 | 149744 | 112978 | 156994 |
| 2017 | 115622 | 115622 | 120760 | 168038 | 128834 | 179291 | 137359 | 191177 |
| 2018 | 133806 | 133806 | 140865 | 196334 | 152227 | 212148 | 164565 | 229326 |
| 2019 | 154700 | 154700 | 163755 | 228558 | 178686 | 249323 | 195364 | 272524 |
| 2020 | 176479 | 176479 | 187607 | 262138 | 206409 | 288271 | 228010 | 318305 |
| 2021 | 189142 | 189142 | 202424 | 282967 | 225417 | 314913 | 252590 | 352680 |
| 2022 | 202252 | 202252 | 217770 | 304541 | 245299 | 342777 | 278763 | 389275 |
| 2023 | 215445 | 215445 | 233285 | 326350 | 265716 | 371384 | 306267 | 427718 |

Учитывая прогноз и динамику использования ГМТ всеми видами автотранспорта, оценим общую тенденцию его потребления по 2023 год. Для этого представим регрессионную модель роста суточного потребления газомоторного топлива V для разных лет Y_i в виде следующей зависимости:

$$V = b_0 + b_1 Y, \quad (2.5)$$

где V – суточный объём (м³/сут) потребления ГМТ всеми видами ГБА в течение года Y ;

$Y_i = 2014, 2015, \dots, 2023$ г;

b_0 и b_1 - коэффициенты уравнения регрессии, найденные методом наименьших квадратов Гаусса- Маркова [1], которые показывают динамику изменения объёма потребления ГМТ в период с 2014 г. по 2023 г.г.;

коэффициент b_0 – характеризует среднее потребление ГМТ в 2014 г.;

b_1 - показывает прирост потребления ГМТ в среднем за год (коэффициент регрессии – показывает скорость изменения суточного объёма потребления ГМТ в период с 2014 по 2023 г.г.);

здесь V – отклик, а Y – фактор.

Находим значения коэффициентов b_0 и b_1 :

$$b_0 = \bar{V} - b_1 \bar{Y}, \quad (2.6)$$

$$b_1 = \frac{\bar{VY} - \bar{V} \cdot \bar{Y}}{\bar{Y^2} - \bar{Y}^2}. \quad (2.7)$$

Вычисляем коэффициент детерминации R^2 уравнения регрессии:

$$R^2 = \frac{Q_{reg}^2}{Q_{reg}^2 + Q_{err}^2}, \quad (2.8)$$

где Q_{reg} – сумма квадратов отклонений;

Q_{err} – остаточная сумма квадратов отклонений.

Чем ближе коэффициент детерминации к единице, тем качественнее эмпирическая зависимость описывается уравнением регрессии. Точнее, коэффициент детерминации показывает долю дисперсии обусловленную изменением фактора.

Рассмотрим две реализации такой модели из расчёта минимального ($\min V$) и максимального ($\max V$) сценария суточного потребления ГМТ V (таблица 2.10).

В первом случае, при минимальном потреблении, коэффициент регрессии оценивается как

$$b_1 = b_{min} = 19663,1 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

При этом предположении суммы квадратов отклонений, обусловленные регрессией и ошибкой есть $Q_{reg}^2 = 1.276 \cdot 10^{11}$ и $Q_{err}^2 = 1.606 \cdot 10^{10}$ соответственно. Тогда коэффициент детерминации $R^2 = 0,89$. Стандартная ошибка $SE(b_1) = 1131,7 \text{ м}^3/\text{сут}$ (меньше 10%), а 95% - й доверительный интервал есть $17372,3 - 21953,9 \text{ м}^3/\text{сут}$ (достаточно узкий). Следовательно, полученное уравнение регрессии и коэффициент регрессии b_{min} являются статистически значимыми.

Во втором случае, при максимальном потреблении, коэффициент регрессии есть

$$b_1 = b_{max} = 27614,0 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

При этом предположении регрессия $Q_{reg}^2 = 2.516 \cdot 10^{11}$, ошибка $Q_{err}^2 = 3.112 \cdot 10^{10}$ и коэффициент детерминации $R^2 = 0,89$. Стандартная ошибка $SE(b_1) = 1575,3 \text{ м}^3/\text{сут}$, и 95% - ый доверительный интервал есть $24424,9 - 30803,2 \text{ м}^3/\text{сут}$. Следовательно, коэффициент регрессии b_{max} также является статистически значимым.

На рисунках 2.3 и 2.4 показан, рассчитанный по уравнению регрессии (2.5),

тренд минимального и максимального суточного потребления ГМТ автомобильного транспорта на период с 2014 по 2023 г.г.

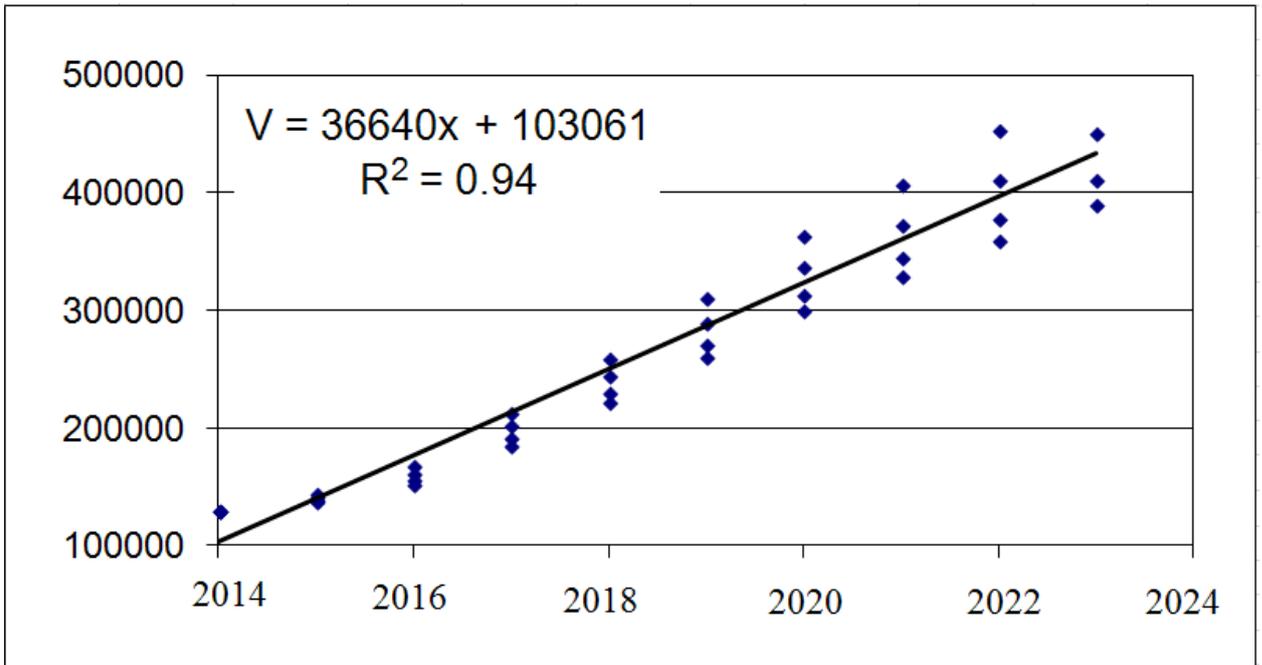


Рисунок 2.3 - Прогноз минимального суточного потребления ГМТ, м³/сут

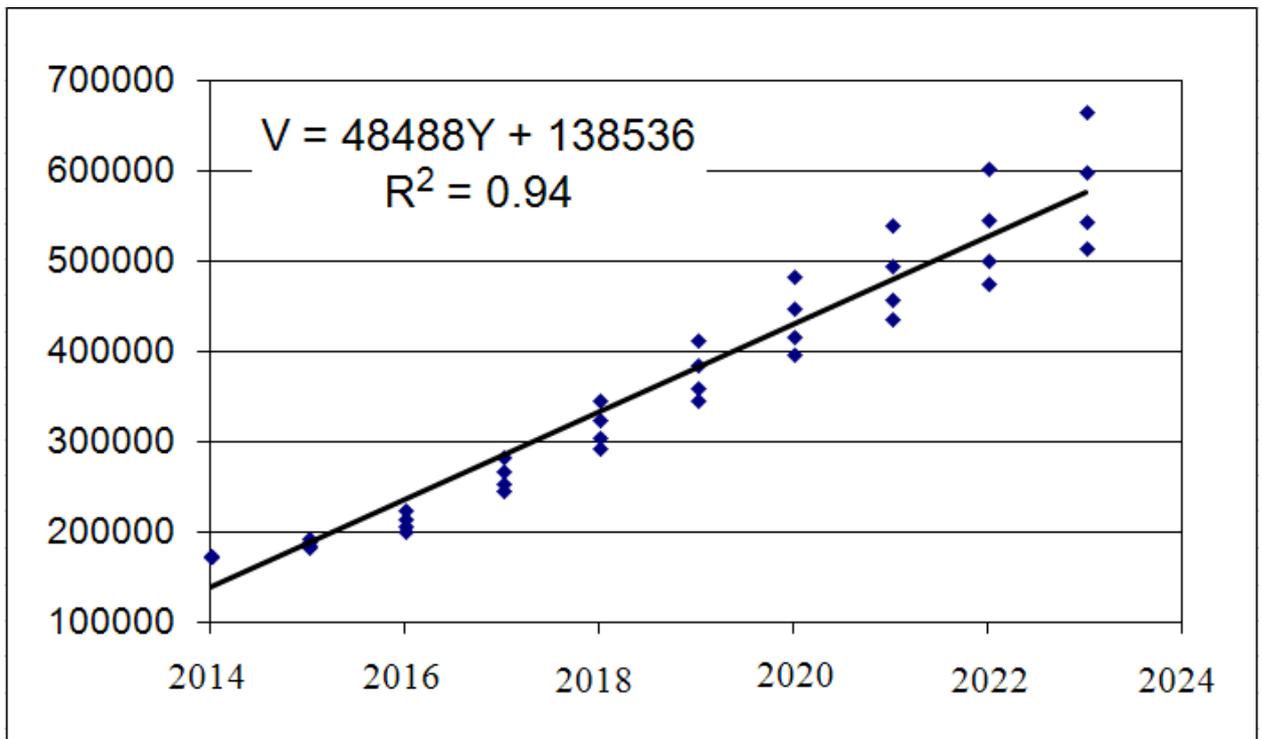


Рисунок 2.4 - Прогноз максимального суточного потребления ГМТ, м³/сут

Таким образом, расчётное уравнение регрессии (2.5) позволяет прогнозировать развитие газомоторного рынка Санкт – Петербурга и с доверительной точностью определить, что для удовлетворения спроса

автомобильного транспорта в ГМТ в следует до 2023 г. вводить в эксплуатацию АГНКС с учётом обеспечения ежегодного прироста потребления ГМТ от 19000 до 30000 м³/сут. Таким оценкам соответствует ежегодный ввод одной средней АГНКС (производительностью 21600 м³/сут) в случае минимального потребления и одной большой АГНКС (производительностью 36000 м³/сут) в случае максимального потребления ГМТ.

2.4 Определение числа АГНКС по их параметрическим характеристикам

Разработанная методика определения числа АГНКС позволит рассчитать оптимальное количество станций заправки, динамику ввода их в строй, а также рациональные объёмы инвестиционных вложений в их строительство.

К характеристикам для определения числа АГНКС относятся:

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

Расчёт производительности АГНКС производится согласно количеству планируемых ГБА. Вычисления осуществляются исходя из общего количества разных типов транспорта и стандартных объёмов заправки каждого вида (таблицы 2.13, 2.14).

Таблица 2.13 - Стандартные ёмкости газовых баков

| Тип/марка автомобиля | Объём газового бака |
|----------------------|---------------------|
| Легковой автомобиль | 16 м ² |
| «Газель» | 48 м ² |
| Малые автобусы | 96 м ² |
| Спец. техника | 100 м ² |
| Грузовики | 176 м ² |
| Большие автобусы | 250 м ² |

Таблица 2.14 - Диапазон количества ежесуточно заправляемого газа

| Кол-во автомобилей | Объём газа |
|--------------------|-----------------------------------|
| 75 – 100 | 4000 -8000 м ³ /сут |
| 100 - 140 | 5000 – 10000 м ³ /сут |
| 150 - 180 | 9000 – 16000 м ³ /сут |
| 200 -250 | 12000 – 24000 м ³ /сут |
| 250 - 310 | 18000-36000 м ³ /сут |
| 300 – 400 | 24000 – 48000 м ³ /сут |
| 350 - 460 | 30000 – 60000 м ³ /сут |
| 450 – 550 | 36000 – 72000 м ³ /сут |

Рассчитанный объём необходимо увеличить на коэффициент роста:

1,5 – для АГНКС на крупных магистралях

1,2 – вдали от крупных магистралей.

Выбор типа АГНКС производится на основании вычисления общего объёма газа необходимого для заправки автомобилей прибывающих на станцию в сутки (таблица 2.15)

Таблица 2.15 - Сравнение АГНКС

| Наименование показателей | АГНКС при крупном автопарке S = 6 000 м ² | Коммерческая АГНКС S = 4 500 м ² | Малая АГНКС S = 4 500 м ² |
|--|---|--|---|
| Производительность компрессора | 3 * 1500 м ³ / час | 2 * 900 м ³ /час | 600 м ³ /час |
| Количество раздаточных постов | 10 | 6 | 4 |
| Входное давление, кгс/см ² | 2 - 12 | | |
| Выходное давление компрессора, кгс/см ² | 250 | | |
| Давление заправки, кгс/см ² | 200 | | |
| Время заправки 1 автомобиля, мин | 5....13 | | |

1. Рассмотрим оценку N_V числа АГНКС по объёму потребляемого топлива, обеспечивающих суточную заправку всех типов ГБА в соответствии с Программой. Суточный объём потребления V (м^3) ГМТ в будний день всеми типами ГБА определяется по данным таблиц 2.12 и 2.13 по зависимости

$$V = V_{\text{гр}} + V_{\text{авт}}, \quad (2.9)$$

где $V_{\text{гр}}$ и $V_{\text{авт}}$ – суточные объёмы потребления ГМТ, $\text{м}^3/\text{сут}$.

Количество АГНКС (N_V) определяется отношением суточного объёма потребления ГМТ (V) к их производительности W (таблица 2.3).

$$N_V = V/W. \quad (2.10)$$

Для обслуживания АТ на ГМТ планируется использование больших, средних и малых АГНКС. Эксплуатационные характеристики АГНКС представлены в таблице 2.16 [118].

Таблица 2.16 - Эксплуатационные характеристики АГНКС

| | Большая АГНКС | Средняя АГНКС | Малая АГНКС | |
|--|---------------|---------------|-------------|---------|
| | N_1 | N_2 | N_3 | N_4 |
| Число раздаточных постов, m | 10 | 6 | 4 | 2 |
| Число компрессоров | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Производительность компрессора, $\text{м}^3/\text{ч}$ | 500 | 450 | 600 | 300 |
| Производительность АГНКС, $\text{м}^3/\text{ч}$ | 1500 | 900 | 600 | 300 |
| Производительность АГНКС W , $\text{м}^3/\text{сут}$ | 36000 | 21600 | 14400 | 7200 |
| Стоимость млн. руб. | 150 – 160 | 90 – 110 | 70 – 80 | 60 – 70 |

Рассчитанные объёмы суточного потребления ГМТ с учётом рассматриваемого периода времени и количество больших, средних и малых АГНКС (N_V), способных обеспечить поток этих заявок, представлены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 - Объёмы суточного потребления ГМТ и число необходимых АГНКС (1,2,3,4 – числовая индексация АГНКС)

| Год | Суточное потребление V , м ³ | | Необходимое 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 |

Учитывая полученную оценку числа станций, принять решение о строительстве тех или иных станций по «Программе» можно на основе их стоимости. Оценка суммарной стоимости больших, средних и малых АГНКС из расчёта их количества на 2023 год представлена в таблице 2.18.

Таблица 2.18 - Оценка суммарной стоимости АГНКС (млн.руб.)

| Стоимость АГНКС | Больших | Средних | малых (4 поста) | малых (2 поста) |
|-----------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|
| | N_1 | N_2 | N_3 | N_4 |
| Нижняя оценка | 1200 – 1200 | 1170 – 1430 | 1400 – 1600 | 2400 – 2730 |
| Верхняя оценка | 1500 – 1600 | 1530 – 1870 | 1750 – 2000 | 3000 – 3500 |

Из анализа таблицы 2.16 следует, что целесообразно использовать большие и средние АГНКС. Однако полученные оценки стоимости АГНКС являются приблизительными, так как в реальных условиях более экономичным может оказаться эксплуатация различных типов АГНКС.

2. Наряду с расчётом числа АГНКС (N_V) по объёму суточного потребления ГМТ, рассмотрим оценку числа АГНКС по «критерию времени» (N_T). Зная общее количество ГБА и время заправки одного автомобиля t , можно оценить суммарное время их заправки T , необходимое для заправки автомобилей,

предусмотренных Программой, и как следствие, требуемое количество АГНКС (N_T), обеспечивающих заправку потребителей в течение суток.

Суммарное время заправки T оценивается по формуле:

$$T = \sum n * t * m, \quad (2.11)$$

где n – количество ГБА (грузовиков или автобусов);

t – время заправки одного автомобиля рассматриваемого типа, час;

m – число раздаточных постов на одной АГНКС.

Тогда необходимое количество АГНКС (N_T), обеспечивающее заправку всех потребителей рассматриваемого типа в течение суток, определяемое по «критерию времени» составит:

$$N_T = T / 24. \quad (2.12)$$

Результаты соответствующих расчётов приведены в таблице 2.19

Таблица 2.19 - Суммарное время заправки ГБА на АГНКС

| Год | Время T заправки на одной АГНКС, час | | | |
|------|---|---|---|--|
| | большой АГНКС грузовиков, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | средней АГНКС грузовиков, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | большой АГНКС автобусов, исходя из пробега 200 – 250 (м/сут) | средней АГНКС автобусов, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) |
| 2014 | 0.1 – 0.1 | 0.1 – 0.1 | 6.0 – 9.0 | 10.0 – 14.9 |
| 2015 | 0.4 – 0.6 | 0.6 – 1.0 | 7.3 – 11.0 | 12.2 – 18.3 |
| 2016 | 0.7 – 1.2 | 1.2 – 1.9 | 10.3 – 15.5 | 17.2 – 25.8 |
| 2017 | 7.1 – 11.9 | 11.9 – 19.8 | 15.9 – 23.8 | 26.5 – 39.7 |
| 2018 | 14.9 – 24.9 | 24.9 – 41.5 | 21.5 – 32.2 | 35.8 – 53.6 |
| 2019 | 24.6 – 40.9 | 40.9 – 68.2 | 27.1 – 40.6 | 45.1 – 67.6 |
| 2020 | 34.8 – 58.0 | 58.0 – 96.6 | 32.7 – 49.0 | 54.4 – 81.6 |
| 2021 | 39.2 – 65.4 | 65.4 – 109.0 | 37.6 – 56.4 | 62.7 – 94.0 |
| 2022 | 43.7 – 72.9 | 72.9 – 121.5 | 42.9 – 64.3 | 71.5 – 107.2 |
| 2023 | 48.2 – 80.4 | 80.4 – 134.0 | 48.2 – 72.4 | 80.4 – 120.6 |

Количество больших и средних АГНКС (по критерию времени) способных обеспечить потребителей в соответствии с Программой в течение суток с учётом времени заправки одного потребителя показано в таблице 2.20.

Таблица 2.20 - Количество больших и средних АГНКС (по критерию времени)

| 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 таблиц 2.19 и 2.20 следует, что ограничение по времени является существенно более «мягким», а критичным оказывается способность АГНКС удовлетворить требуемые суточные объёмы потребления ГМТ. Это дало возможность в дальнейшем определить ориентиры по приоритету строительства больших и особенно средних АГНКС относительно малых.

Для того, чтобы окончательно решить вопрос о требуемом количестве АГНКС в соответствии с Программой развития целесообразно составить соответствующую задачу оптимизации: определить необходимое количество АГНКС, удовлетворяющее суточным потребностям АТ, но так, чтобы стоимость их строительства была минимальной.

Прогноз общего количества АТ и время заправки одного автомобиля позволяет оценить суммарное время T , необходимое для заправки полного количества автомобилей каждого из рассматриваемых типов, с учётом прогноза и Программы, и требуемое количество АГНКС (N_T), обеспечивающих их заправку по времени в течение суток в будний день. Суммарное время, необходимое для заправки общего количества АТ (по категориям), при условии, что их численность увеличивается в соответствии с различными сценариями развития, и количество больших и средних АГНКС, способных обеспечить потребителей в течение суток с учётом времени заправки одного потребителя представлены в Приложение Г.

3. Определим число вводимых в эксплуатацию АГНКС по величине рациональных инвестиционных вложений в их сооружение f , стоимость которых будет минимальной:

$$f = \sum_{i=1}^4 c_i N_i \rightarrow \min, \quad (2.13)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^4 N_i W_i \geq V, \quad (2.14)$$

$$24 \sum_{i=1}^4 N_i m_i \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) \geq K_1 + K_2, \quad (2.15)$$

где $i = 1, 2, 3, 4$ – номера соответствующие числовой индексации больших, средних и двух малых типов АГНКС (таблица 2.20);

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;

$24/t_{12}$ – число грузовиков (1) и автобусов (2) соответственно, которые могут быть заправлены за сутки на одной АГНКС i -го типа;

$24/t_{12} \sum N_i m_i$ – суммарное количество ГБА, которое может быть заправлено топливом на всех АГНКС i -го типа за сутки.

Здесь левая часть первого ограничения (2.14) – суммарная суточная производительность АГНКС по раздаче ГМТ, левая часть второго ограничения (2.15) – среднесуточная пропускная способность АГНКС.

Для того, чтобы получить нижнюю и верхнюю оценки по количеству вводимых АГНКС и их суммарной стоимости, рассматриваем минимальное и

максимальное время заправки одного автомобиля, а также минимальную и максимальную стоимость 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 (таблица 2.21)), а также для случая $N_i = 2-4$ (для строительства АГНКС только среднего и двух малых типов (таблица 2.24)), приведены в таблицах 2.21 и 2.23.

Таблица 2.21 - 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 таблицы 2.21 показывает, что с 2020 года, с точки зрения экономической целесообразности, следует сооружать и вводить в строй только АГНКС большого типа - N_1 . Поэтому в таблице 2.22 приведена скорректированная оценка ввода в строй больших АГНКС (N_1).

Таблица 2.22 – Скорректированная оценка ввода больших АГНКС(N_1)

| Год | Минимальная оценка | | Максимальная оценка | |
|------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | число АГНКС, ед | стоимость, млн.руб | число АГНКС, ед | стоимость, млн.руб |
| 2017 | 2 | 300 | 3 | 480 |
| 2018 | 3 | 450 | 4 | 640 |
| 2019 | 5 | 750 | 6 | 960 |
| 2020 | 7 | 1050 | 7 | 1120 |
| 2021 | 7 | 1050 | 7 | 1120 |
| 2022 | 9 | 1350 | 9 | 1440 |
| 2023 | 10 | 1500 | 10 | 1600 |

Однако использование больших АГНКС связано с целым рядом недостатков (ограничений), наиболее существенным из которых является большая площадь станции (нехватка в городе свободных площадей под застройку) и, как следствие, большая налоговая нагрузка.

Поэтому задачу оптимизации по числу АГНКС, исходя из величины рациональных инвестиций, целесообразно решить для случая, когда рассматривается строительство только средних (N_2) и двух типов малых АГНКС (N_3 и N_4). Результаты соответствующих расчётов приведены в таблице 2.23.

Таблица 2.23– 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 таблицы 2.23 показывает, что, в основном, число АГНКС, характеризующееся минимальной стоимостью и удовлетворяющее спросу по объёму суточного потребления ГМТ всеми ГБА, определяется только станциями среднего типа (N_2). Поэтому при последующем моделировании в таблице 2.24 приведены скорректированные минимальные и максимальные результаты по оценке ввода в эксплуатацию средних АГНКС.

Таблица 2.24 - Скорректированные результаты ввода средних АГНКС (N_2)

| Год | Минимальная оценка | | Максимальная оценка | |
|------|--------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | число АГНКС | стоимость | число АГНКС | стоимость |
| 2017 | 4 | 360 | 5 | 550 |
| 2018 | 7 | 630 | 7 | 770 |
| 2019 | 8 | 720 | 9 | 990 |
| 2020 | 12 | 1080 | 12 | 1320 |
| 2021 | 13 | 1170 | 14 | 1540 |
| 2022 | 15 | 1350 | 15 | 1650 |
| 2023 | 17 | 1530 | 17 | 1870 |

Сопоставление данных таблиц 2.21 и 2.24 даёт возможность будущим инвесторам принять наиболее рациональное решение по вложению средств на проектирование и строительство соответствующих АГНКС.

Выводы по второй главе

Во второй главе были проведены теоретические исследования по теме диссертации и выполнена математическая формализация выдвинутых гипотез.

Произведена двухуровневая экспертная оценка факторов, влияющих на эксплуатацию газомоторных автомобилей, в ходе которой были решены следующие задачи:

- определено интегральное число возможных факторов F_i , способных влиять на эксплуатацию ГБА;
- произведено их дифференцирование, т.е. ранжирование их по степени важности в рамках данного исследования;
- выявлена и описана корреляционная зависимость между ними в аналитической форме;
- подтверждена высокая сходимость полученных результатов между экспертами на основе ранговой корреляции Спирмена и Кендалла.

В результате, наиболее значимым фактором, влияющим на эксплуатацию ГБА, является наличие инфраструктуры АГНКС, обеспечивающей эффективную заправку машин ГМТ.

На основе данных о составе газомоторного транспорта и оценки минимального и максимального объёма требуемого ГМТ выведено регрессионное уравнение и определён тренд его суточного потребления, а также спрогнозировано развитие газомоторного рынка Санкт – Петербурга до 2023 года.

Определено число АГНКС по их параметрическим характеристикам, к которым относятся: объёмы среднесуточного потребления ГМТ; суммарное время (продолжительность) заправки ГБА и рациональный объём инвестиционных вложений в сооружение АГНКС. Данная методика позволит рассчитать оптимальное количество станций заправки, динамику ввода их в строй, а также рациональные объёмы инвестиционных вложений в их строительство.

ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ АГНКС (НА ПРИМЕРЕ САНКТ – ПЕТЕРБУРГА)

3.1 Обоснование исходных условий для моделирования

Экспериментальное исследование - это научно поставленный опыт с точно учитываемыми и управляемыми условиями, для выявления свойств исследуемого объекта, проверки справедливости выведенной гипотезы, широкого и глубокого изучения темы научной работы.

В Стратегии экономического и социального развития Санкт – Петербурга на период до 2030 года [Стратегия 2030] была проведена серьёзная аналитическая работа и произведён анализ его пространственно – территориального развития. Выгодное и удачное географическое положение города даёт преимущества в использовании всех видов транспорта. Однако, городская транспортная система не успевает за его растущими потребностями. Главная проблема заключается в том, что высокие темпы автомобилизации, крупные транзитные грузопотоки, высокие темпы градостроительного освоения новых территорий создают огромную нагрузку на транспортно - дорожную инфраструктуру. Поэтому её совершенствование позволит к 2030 г. увеличить качество обслуживания на общественном автомобильном транспорте до 90% [110]. Для этого необходимо обеспечить эффективность транспортного планирования, проектирования и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры, а также повышение доступности и качества услуг транзитного транспорта. Решение этих задач неразрывно связано с переводом работы АТ на ГМТ.

В аспекте Стратегии 2030 с учётом роста численности автомобилей на ГМТ, в качестве эксперимента выполнено математическое моделирование прогнозируемой инфраструктуры АГНКС Санкт – Петербурга.

Основной целью эксперимента является проверка свойств изучаемого объекта и более широкое и глубокое изучение темы научного исследования для обеспечения адекватности условий эксперимента реальной ситуации. Применение

математической теории эксперимента позволит оптимизировать объём экспериментальных исследований и повысить их точность.

Решение, поставленной в эксперименте задачи и разработка инфраструктуры АГНКС СПб осуществлялось за счёт соответствующей разработки математических моделей, описывающих изучаемый объект.

Из предыдущих глав можно сделать вывод, что в Санкт-Петербурге существует острая инфраструктурная недостаточность АГНКС.

Основным принципом размещения АГНКС является их максимальное приближение к потребителю – эффективная доступность АГНКС для автотранспорта, которая зависит от уровня концентрации базирования АТ (автопредприятия, жилищно-коммунальные хозяйства, автобусные парки, автовладельцы и др.).

При этом, рациональное построение сети АГНКС должно основываться на следующей информационной базе, которая бы дала возможность оценить [23]:

1. Действующие автотранспортные потоки, осуществляющие перевозки на постоянной основе
2. Характеристики улично-дорожной сети (время передвижения; доступность для определённых видов транспорта (радиусы поворотов и разворотов); холостые пробеги и др.), с учётом утверждённых перспективных и генеральных планов её развития и строительства
3. Наличие и техническую возможность подключения к различным поставщикам топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и исходного сырья для производства газового моторного топлива, т.е. необходимых для функционирования АГНКС электрических мощностей и магистрального сетевого природного газа с определённым уровнем давления и влажности
4. Наличие потребителей ГМТ
5. Наличие действующих АГНКС, их возможности, режимы работы и местонахождение.

Сбор, обобщение и анализ информации по городским и транзитным потокам АТС осуществлялся по данным, предоставленным автотранспортными

предприятиями и Центром транспортного планирования Санкт – Петербурга.

Для оценки степени обеспеченности региона КПП применяют соответствующий коэффициент обеспеченности $K_{\text{КПП}}$ [7].

$$K_{\text{КПП}} = \left(1 - \frac{Q_{\text{прогн.}}}{Q_{\text{ном.мощн.}}} \right) * P_{\text{г.н.п.}}, \quad (3.1)$$

где $Q_{\text{прогн.}}$ – прогнозируемое значение потребления КПП (потенциальная потребительская ёмкость) автотранспортом региона;

$Q_{\text{ном.мощн.}}$ – суммарная проектная мощность, имеющихся в данном регионе АГНКС;

$P_{\text{г.н.п.}}$ – плотность газифицированных населённых пунктов в регионе.

Для Санкт – Петербурга $K_{\text{КПП}} < 2,5$ – это означает, что регион характеризуется крайне низкой обеспеченностью КПП. Поэтому, при разработке критериев размещения АГНКС необходимо иметь в виду дальнейшее развитие газозаправочной сети.

Для определения мощности АГНКС изучалась структура АТС и их категории, их среднегодовые пробеги и основные маршруты движения. В результате сформирована карта с местами дислокации функционирующего и перспективного ГМТ парка, с указанием его типа, численности, среднесуточных пробегов. При обработке информации, полученной в результате первичного сбора, используются методы системного анализа. Сформированный массив исходной информации структурируется и обобщается в виде соответствующих таблиц и графиков, которые будут представлены ниже.

Далее необходимо формировать условия разработки инфраструктуры АГНКС, включающие:

- определение оптимальной инфраструктуры АГНКС и её параметров;
- определение оптимального состава производственного оборудования АГНКС;
- размещение АГНКС возле ключевых потребителей и в местах с максимальной интенсивностью городских и транзитных потоков АТС;
- размещение АГНКС с учётом требований их безопасной эксплуатации,

санитарных норм и состояния улично-дорожной сети.

В результате формируются целевые показатели и технические характеристики, предъявляемые к объектам и оборудованию АГНКС.

Размещение АГНКС возле ключевых потребителей и в местах с максимальной интенсивностью потоков ТС. Этот процесс заключается в формировании множества альтернативных решений, удовлетворяющих следующим условиям:

- непосредственное прилегание свободной территории к проезжей части с интенсивным движением;
- наличие источника исходного производственного сырья достаточной мощности и минимальное расстояние до него;
- отсутствие в непосредственной близости объектов производства и распространения ГМТ конкурентов;
- наличие крупных потребителей газового топлива (автобусные парки, крупные автотранспортные предприятия, таможенные терминалы, почтовые станции) и минимальное расстояние до них.

В результате формируется множество предварительных мест возможной локализации АГНКС.

Размещение АГНКС с учётом требований их безопасной эксплуатации, санитарных норм и состояние улично-дорожной сети. Полученное множество предварительных мест возможной локализации АГНКС оценивается на соответствие требованиям действующей нормативной базы в следующих областях:

- размещения жилого фонда и опасных производственных объектов;
- противопожарной безопасности;
- объектов, подключаемых к трубопроводным источникам природного газа;
- санитарных норм и правил.

Информационно – логические связи и условия для рационального проектирования инфраструктуры АГНКС представлены на рисунке 3.1



Рисунок 3.1 - Информационно – логические связи и условия проектирования инфраструктуры АГНКС СПб

В результате, из предварительно отобранных мест составляется список тех, что соответствуют действующим нормативным документам, а из них выбираются наиболее подходящие для размещения АГНКС и строительства региональной сети газовых заправок.

Методология и технология проведения эксперимента формируются с помощью математической структуры, способной отражать свойства объекта исследования, проявляемые им в различных условиях. Элементам этой структуры даётся физическая интерпретация и устанавливается соотношение между её параметрами и экспериментально определёнными свойствами объекта. Таким образом, математическая структура вместе с описанием свойств объекта является моделью изучаемого объекта, отражая в математической, форме объективно существующие зависимости и связи [78].

Экспериментальное исследование будет проводиться с помощью имитационного моделирования не прибегая к натуральному эксперименту на

реальном объекте, которым является прогностическая инфраструктура АГНКС СПб с перспективой до 2023 года и в реальности это делать нецелесообразно по масштабу временных и материальных затрат. Это процесс конструирования модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью оценить различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы. Имитационное моделирование является экспериментальной и прикладной методологией, имеющей целью: описать поведение объекта, выдвинуть гипотезы и построить теории, которые могут объяснить её поведение; оценить результативность её функционирования.

В общем плане структуру модели математически можно представить в виде [116]:

$$E = f(x_1, y_1), \quad (3.2)$$

где E – результат действия системы;

x_1 – переменные и параметры, которыми можно управлять;

y_1 – переменные и параметры, которыми управлять не можем;

f – функциональная зависимость между x_1 и y_1 , которая определяет величину E .

Имитационная модель представляет собой комбинацию таких составляющих как: компоненты, переменные, параметры, функциональные зависимости, ограничения и целевые функции. Под *компонентами* мы понимаем составные части какой – либо инфраструктуры, которые при соответствующем объединении образуют систему, под которой, в нашем случае понимаем инфраструктуру АГНКС СПб. В нашем случае при построении инфраструктуры такими компонентами является сеть АГНКС. Система определяется как совокупность объектов, объединённых некоторой формой регулярного взаимодействия или взаимозависимости для выполнения заданной функции. *Параметры* суть величины, которые оператор, работающий на модели, может выбирать произвольно, в отличие от *переменных*, которые могут принимать только значения, определяемые видом данной функции. *Параметры*, после того как они установлены, являются постоянными величинами, не подлежащими изменению. Такими *параметрами* являются расположение районов города и

предприятия - потребители ГМТ, а *переменными* являются количество и потоки ГБА потребителей ГМТ. *Функциональные зависимости* описывают поведение переменных и параметров в пределах компонента или выражают соотношение между компонентами системы. *Ограничения* представляют собой устанавливаемые пределы изменения значений переменных или ограничивающие условия распределения и расходования тех или иных средств. Такими ограничениями являются границы города Санкт-Петербурга, которые могут быть изменены в случае объединения с Ленинградской областью и финансирование по программе перевода АТС на ГМТ, а также технические требования к размещению и функционированию АГНКС. *Целевая функция, или функция критерия* – должна точно отображать цели и задачи системы, а также правила их выполнения (оптимизированная инфраструктура АГНКС). С целевой функцией должны соразмериться принимаемые решения. Критерий как «мерило оценки», правило или вид проверки, при помощи которых составляется правильное суждение о чём-либо.

Модель инфраструктуры АГНКС является изоморфной (т.е. идентичной или сходной по форме) с объектом, который она отображает, т.к. существует взаимно однозначное соответствие между элементами модели и элементами представляемого объекта и сохранены точные соотношения или взаимодействия между элементами.

Моделирование инфраструктуры АГНКС строится по «симплекс – методу» (центрам тяжести) [59], исходя из критерия эффективности её функционирования и выполнения условий, указанных в разделе 3.1.

Симплексный метод основан на том, что целевая функция достигает экстремума (точка, в которой функция имеет максимум или минимум) на допустимом базисном решении. Метод выполняется пошагово и позволяет переходить от одного допустимого базисного решения к другому так, чтобы значение целевой функции уменьшалось (увеличивалось) до ситуации, когда выполняются условия оптимизации.

Последовательность вычислений симплекс – методом состоит из двух фаз:

- нахождения множества допустимых решений;
- последовательный переход от одного базисного решения к другому, ведущий к оптимизации значения целевой функции.

Ниже излагается алгоритм решения искомой задачи.

На начальном (нулевом) шаге, по координатам (x_i, y_i) находим ближайшие, к имеющейся АГНКС – 1 потребителей ГМТ, запросы которых могут быть удовлетворены суточной пропускной способностью данной АГНКС и строим граф минимального плеча пробега ГБА до места заправки. Затем этот алгоритм, называемый итерацией, повторяется i -е число раз для каждого из оставшихся потребителей ГМТ.

Далее для оставшихся потребителей решается нелинейная задача безусловной оптимизации [59] в рамках которой находим координаты новой станции j , исходя из минимального плеча пробега до места заправки, с учётом численности транспортных единиц у каждого потребителя. Так как целевая функция выпукла, то эта задача является унимодальной, т.е. имеет одно решение.

Если при реализации этого алгоритма, на какой-нибудь стадии итерации выясняется, что добавление очередного потребителя приводит к превышению возможностей рассматриваемой на данном шаге АГНКС, то этот потребитель подключается к ней частично, а нереализованные его заявки будут переадресованы на другую АГНКС. Этот процесс итерации выполняется в математических моделях до полной реализации потока требований всех потребителей ГМТ.

3.2 Моделирование инфраструктуры АГНКС

Основные задачи экспериментального исследования:

- Изучение, анализ и обоснование необходимости формирования инфраструктуры АГНКС СПб;
- Разработка математических моделей инфраструктуры АГНКС Санкт – Петербурга;

- Моделирование формирования инфраструктуры АГНКС Санкт – Петербурга.

В данном исследовании, в аспекте распоряжения Правительства РФ «О расширении использования природного газа в качестве моторного топлива» [100] и «Программы внедрения газомоторного топлива в автотранспортном комплексе Санкт-Петербурга на 2014 – 2023 годы» [101] для обеспечения условий по поэтапной замене общественного и частного автомобильного транспорта Санкт - Петербурга, на подвижной состав, использующий газомоторное топливо разработаны многофакторные математические модели формирования инфраструктуры АГНКС.

С учётом интегрального критерия (условий) формирования, 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.

При этом, моделирование инфраструктуры АГНКС Санкт – Петербурга базируется на методике решения задач по оптимизации размещения тех или иных объектов по критерию минимизации затрат при взаимодействии с потребителями их услуг [59].

3.2.1 Моделирование инфраструктуры АГНКС по варианту «А»

Рассмотрим модель инфраструктуры АГНКС (А), позволяющую оптимизировать расположение станций заправки ГМТ на территории Санкт – Петербурга в соответствии с местами дислокации основных потребителей ГМТ.

Используя данные открытых источников и современные Интернет технологии, в частности «Карты» поисковой системы «Yandex» и «2 ГИС», по адресам базирования автобусных парков, специализированных предприятий, а также АГНКС – 1 были найдены их координаты – широты φ_i и долготы ψ_i . Применяя формулы перехода от сферической системы координат к декартовой находим их декартовы координаты [59]:

$$x_i = R_0 \cos(\varphi_i \frac{\pi}{180^\circ}) \cos(\psi_i \frac{\pi}{180^\circ}), \quad (3.3)$$

$$y_i = R_0 \cos(\varphi_i \frac{\pi}{180^\circ}) \sin(\psi_i \frac{\pi}{180^\circ}). \quad (3.4)$$

где φ_i и ψ_i - широты и долготы рассматриваемых объектов в градусах;

x_i и y_i - их декартовы координаты (км);

$\pi = 3,1415926$ – число «Пи»;

$R_0 = 6371$ км – средний радиус Земли.

Координаты сферической и декартовой системы расположения автобусных парков, специализированных автотранспортных предприятий и АГНКС – 1, численность ГБА (N_i) с учётом среднего времени заправки (t , час), а также распределение ГБА по районам Санкт – Петербурга, их географические (широты и долготы) и декартовы (км) представлены в таблицах Приложения Г, что является массивом данных для моделирования инфраструктуры АГНКС СПб.

Расположение автобусных предприятий и автоколонн СПб ГУДП «Центр», участвующие в «Программе внедрения ГМТ в автотранспортном комплексе Санкт-Петербурга на 2014 – 2023 годы», в соответствии с данными, указанными в таблицах 5 и 6 Приложения Г, на карте Санкт – Петербурга представлено на рисунках 3.2 и 3.3.

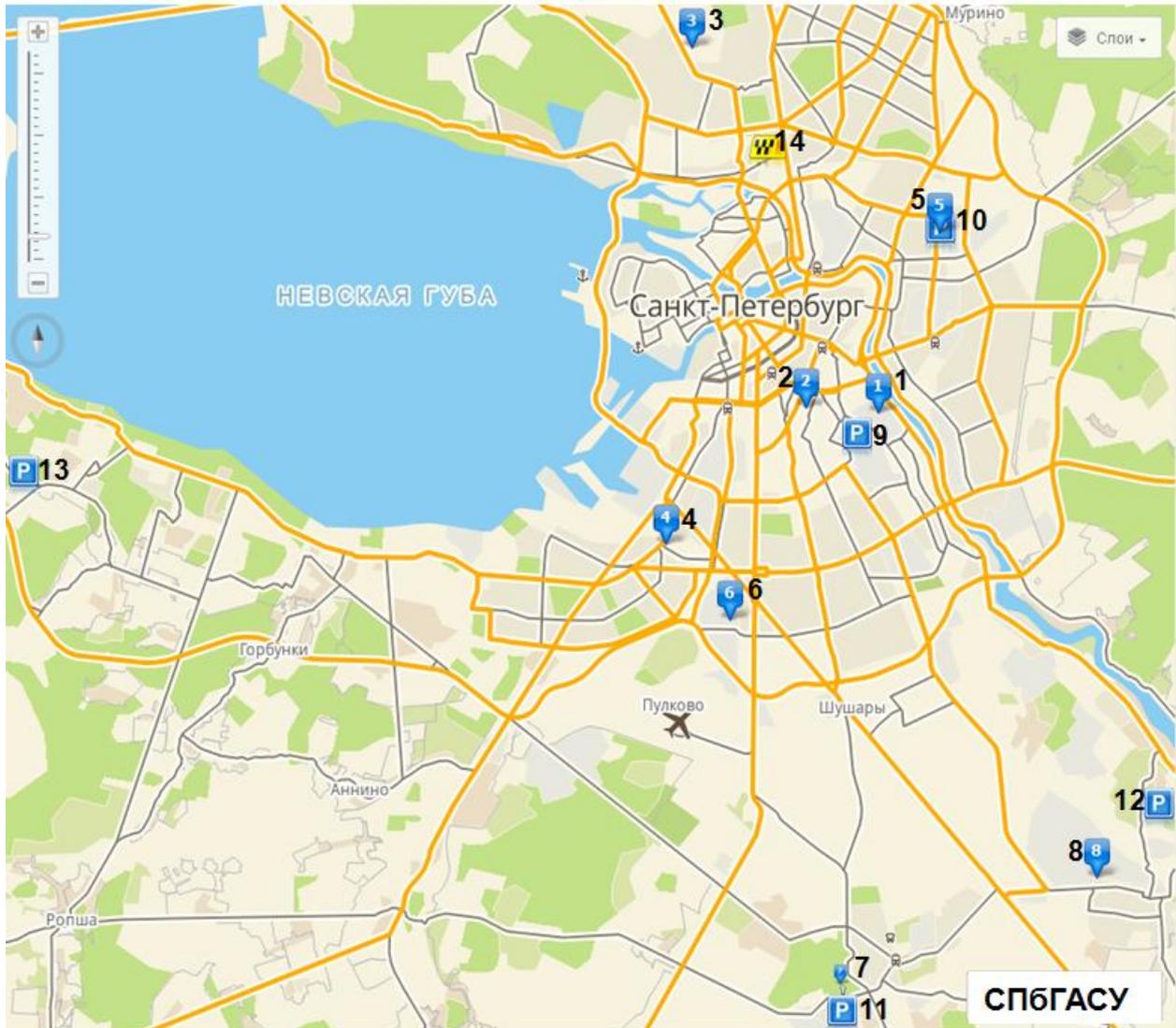


Рисунок 3.2 - Расположение автобусных предприятий Санкт – Петербурга



ГУП «Пассажиравтотранс»



ООО ПитерАвто



ОАО Третий парк

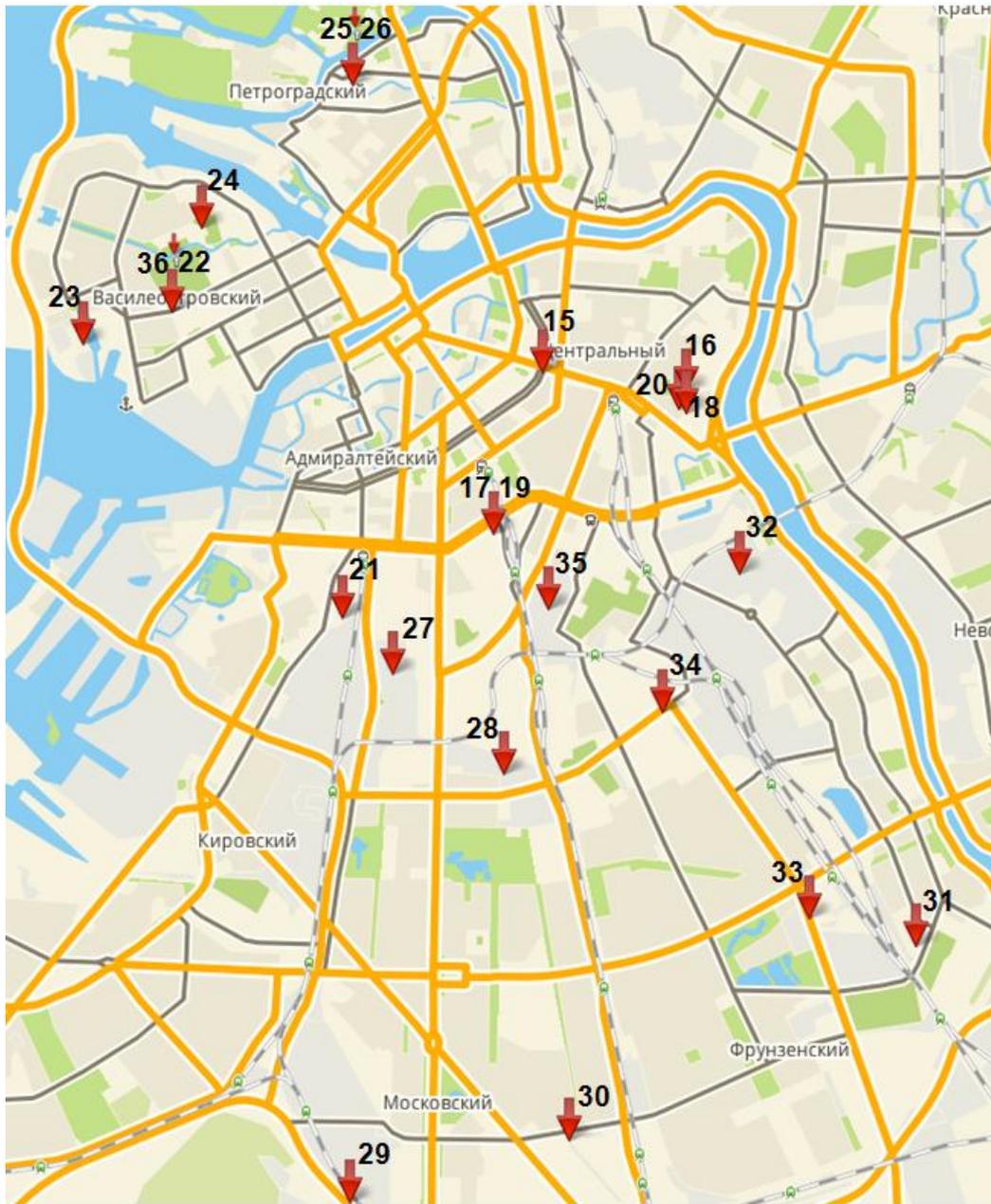


Рисунок 3.3 - Расположение автоколонн СПб ГУДП «Центр»

На рисунке 3.4 указано расположение потребителей АГНКС на карте Санкт – Петербурга, в соответствии с данными, указанными в таблицах 5 и 6 Приложения Г.

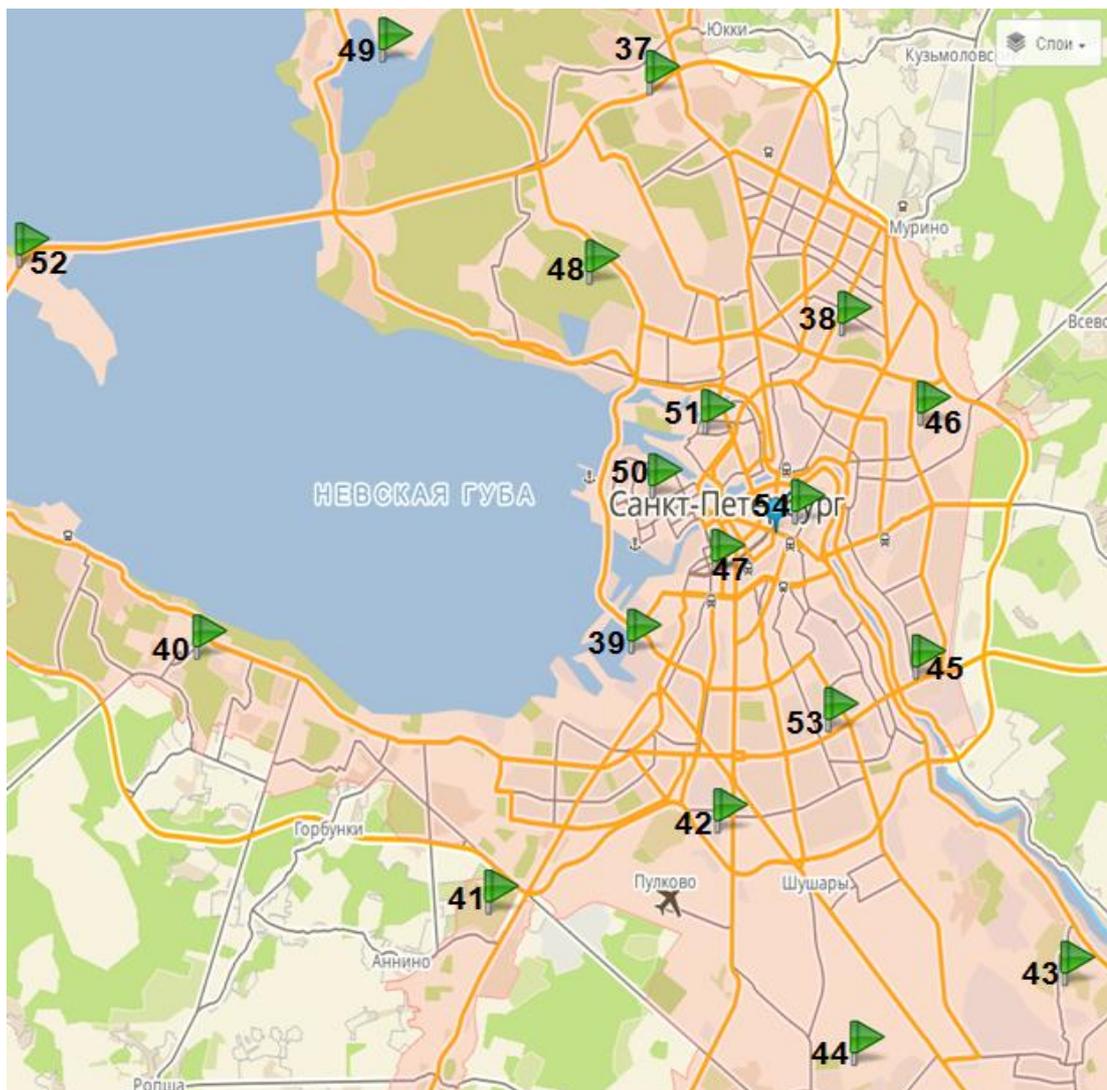


Рисунок 3. 4 - Потребители ГБА, расположенные в районах Санкт-Петербурга

Модель инфраструктуры АГНКС (на примере АГНКС, расположенной на Пулковском шоссе по модели «А») строится по следующей методике [60] В начале по координатам (x_i, y_i) находим ближайшие, к имеющейся АГНКС – 1 (с производительностью $14400 \text{ м}^3/\text{сут}$) потребители ГМТ, запросы которых, могут быть удовлетворены суточной пропускной способностью данной АГНКС и строим граф минимального плеча пробега до заправки ГБА. Потом эти потребители вычёркиваются из общего списка. Затем этот алгоритм, называемый итерацией (т.е. перераспределение заправки потребителей ГМТ на другие станции), последовательно повторяется 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.

На начальном (нулевом) шаге итерации моделирования инфраструктуры АГНКС СПб по координатам $(x(j); y(j))$, находим расположенную АГНКС-1 и потребителей ГМТ. Ими являются АТП с порядковыми номерами, указанными по мере их удаления от АГНКС-1 (Приложение Г): 29 (Южная а/к) и 30 (Пулковская а/к), а также 6 (АП №7 – головное предприятие), которые имеют 176 ГБА. Однако, учитывая суточные возможности АГНКС-1 из 176-ти требующих заправки ГБА, на ней могут быть обслужены только 36 машин, т.е. лишь 63% от списка. При этом, продолжительность работы АГНКС-1, позволяющая удовлетворить выбранных потребителей ГМТ оценивается по нашим расчётам в 10,746 ч.

Далее для оставшихся без заправки потребителей ГМТ решается нелинейная задача безусловной оптимизации [60], в рамках которой находим координаты новой станции j , исходя из минимального плеча пробега до заправки, с учётом численности транспортных единиц у каждого потребителя, т.е.:

$$F = \sum_i \left((x_i - x(j))^2 + (y_i - y(j))^2 \right) N_i \rightarrow \min, \quad (3.5)$$

где F – целевая функция «центра масс»;

$x(j)$ и $y(j)$ – искомые координаты АГНКС (км);

x_i и y_i – известные координаты потребителей;

N_i – количество ГБА у каждого потребителя.

Так как целевая функция выпукла, то эта задача является унимодальной, т.е. имеет одно решение. Затем, как и ранее, определяются ближайшие к найденной АГНКС потребители ГМТ, запросы которых могут быть удовлетворены суточной пропускной способностью АГНКС и продолжительностью заправки, имеющихся у них ГБА (таблицы 3.15 – 3.16). В последующем эти потребители вычёркиваются из общего списка и алгоритм вычислений повторяется заново.

Если в процессе реализации этого алгоритма, на какой-нибудь стадии итерации выясняется, что добавление очередного потребителя приводит к превышению суточных производительных возможностей рассматриваемой на

данном шаге АГНКС, то часть необслуженных ГБА этого потребителя будет переадресована на другую АГНКС. Такой алгоритм функционирования АГНКС повторяется i - число раз до полного удовлетворения по заправке ГБА всех потребителей.

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

$$\left. \begin{aligned}
 F &= \sum_i \left((x_i - x(j))^2 + (y_i - (j))^2 \right) N_i \rightarrow \min, \\
 x_i &= R_0 \cos(\varphi_i \frac{\pi}{180^\circ}) \cos(\psi_i \frac{\pi}{180^\circ}), \\
 y_i &= R_0 \cos(\varphi_i \frac{\pi}{180^\circ}) \sin(\psi_i \frac{\pi}{180^\circ}), \\
 V &= \sum_i V_i N_i, \quad T = \sum_i T_i N_i
 \end{aligned} \right\} (3.6)$$

где F – «центр массы» потребителей ГМТ по числу ГБА;

$x(j)$ и $y(j)$ – искомые координаты АГНКС;

x_j и y_j - известные координаты потребителей;

N_i – количество ГБА у каждого потребителя, ед;

V – суммарный объём ГМТ у всех потребителей, м³;

V_i – объём ГМТ у i -го потребителя, м³;

N_i - количество ГБА у i -го потребителя, ед;

T – суммарное время заправки всеми потребителями ГМТ, час;

T_i – время заправки i -го потребителя, час;

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).

Предварительный анализ соотношения возможностей АГНКС и потребностей в ГМТ показал, что целесообразнее использовать большие АГНКС, а не средние и малые. Исходя из описанной выше методики формирования оптимизационной модели инфраструктуры АГНКС, получим следующий алгоритм её построения.

- 1) на первом шаге итерации находим координаты АГНКС-2, $x(2) = 2756.271548$ и $y(2) = 1612.757406$ км, им соответствуют широта $\varphi(2) = 59.9175777^0$ и долгота $\psi(2) = 30.3328771^0$. Затем, как и ранее, выбираются ближайшие к АГНКС-2 потребители, запросы которых могут быть удовлетворены ее суточной пропускной способностью и продолжительностью заправки всех ГБА. Ими оказались потребители с порядковыми номерами, указанными по мере их удаления от АГНКС-2: 17 (Спец.АТП, Достоевская а/к), 19 (Спец.АТП, Дворцовая а/к), 2 (АП №1), 35 (Спец.АТП, Лиговская а/к), 15 (Спец.АТП, Центральная а/к 1) и 1 (АП №1, производство 2). Эти потребители имеют ГБА в количестве 78, 123, 52, 67, 97 и 48 единиц. Затем они вычеркиваются из общего списка. Время работы АГНКС-2, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается по расчетам в 10,405 ч;
- 2) на втором шаге итерации находим координаты АГНКС-3, $x(3) = 2755.993575$ и $y(3) = 1612.405609$ км, им соответствуют широта $\varphi(3) = 59.9219175^0$ и долгота $\psi(3) = 30.3299476^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31- 32: 9 (ООО Питеравто, Филиал Салова); 20 (Спец.АТП, Кременчугская а/к); 18 (Спец.АТП, Суворовская а/к); 16 (Спец.АТП, Центральная а/к 2); 27 (Спец.АТП, Московская а/к); 32 (Спец.АТП, 2-й луч а/к) и 34 (Спец.АТП, Фрунзенская а/к). Эти потребители смогут заправить на АГНКС -3 соответственно 77, 85, 89, 86, 93, 74 и 16 (из 73) ГБА. Все эти потребители вычеркиваются из общего списка за исключением последнего с номером 34, так как 73-ти планируемых ГБА, на рассматриваемой АГНКС-3 могут заправляться только 16. Время работы АГНКС-3, позволяющее удовлетворить выбранных потребителей ГМТ оценивается в 11,334 ч;
- 3) на третьем шаге итерации находим координаты АГНКС-4, $x(4) = 2755.981946$ и $y(4) = 1612.201466$ км, им соответствуют широта $\varphi(4) = 59.923093^0$ и долгота $\psi(4) = 30.326891^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31-32: 34 (Спец.АТП, Фрунзенская а/к); 26

(Спец.АТП, Петроградская а/к); 28 (Спец.АТП, Рощинская а/к); 22 (Спец.АТП, Василеостровская а/к); 24 (Спец.АТП, Октябрьская а/к); 23 (Спец.АТП, Гаванская а/к); 25 (Спец.АТП, Каменноостровская а/к); 5 (АП № 6) и 33 (Спец.АТП, Купчинская а/к). Эти потребители смогут заправить на АГНКС – 4 соответственно 57, 67, 78, 73, 76, 68 89, 63 и 38 (из 67) ГБА. Время работы АГНКС-4, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается в 11,933 ч;

4) на четвертом шаге итерации находим координаты АГНКС-5, $x(5) = 2756.115003$ и $y(5) = 1612.684458$ км, им соответствуют широта $\varphi(5) = 59.919365^0$ и долгота $\psi(5) = 30.333166^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31-32: 33 (Спец.АТП, Купчинская а/к); 34 (Спец.АТП, Фрунзенская а/к); 4 (АП № 5); 10 (ООО Питеравто, Филиал Энергетиков) и 31 (Спец.АТП, Невская а/к). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-5 соответственно 25, 57, 79, 84 и 51 (из 85) ГБА. Время работы АГНКС-5, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается в 7,599 ч;

5) на пятом шаге итерации находим координаты АГНКС-6, $x(6) = 2755.982667$ и $y(6) = 1612.324414$ км, им соответствуют широта $\varphi(6) = 59.922441^0$ и долгота $\psi(6) = 30.328789^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31-32: 31 (Спец.АТП, Невская а/к), 54 (ТС на ГМТ Центрального р-на), 51 (ТС на ГМТ Петроградский р-на) и 14 (ОАО «Третий парк»). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-6 соответственно 34, 336, 165 и 93 (из 148) ГБА. Время работы АГНКС-6, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается в 12,562 ч;

б) на шестом шаге итерации находим координаты АГНКС-7, $x(7) = 2756.967704$ и $y(7) = 1612.410058$ км, им соответствуют широта $\varphi(7) = 59.913155^0$ и долгота $\psi(7) = 30.321192^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31-32: 14 (ОАО «Третий парк»), 36 (Спец.АТП, Транспортная а/к), 7 (АП №7 (производство №2)) и 11 (ООО Питеравто, Филиал Пушкин). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-7 соответственно 55, 207, 54 и 44 (из

55) ГБА. Время работы АГНКС-7, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается в 17,155 ч;

7) на седьмом шаге итерации находим координаты АГНКС-8, $x(8) = 2757.177171$ и $y(8) = 1613.915526$ км, им соответствуют широта $\varphi(8) = 59.903373^0$ и долгота $\psi(8) = 30.342601^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31-32: 11 (ООО Питеравто, Филиал Пушкин); 52 (ТС на ГМТ Кронштадского р-на); 3 (АП № 2, головное предприятие) и 8 (Колпинский автобусный парк). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-8 соответственно 11, 45, 135 и 47 (из 93) ГБА. Время работы АГНКС-8, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается в 6,640 ч;

8) на восьмом шаге итерации находим координаты АГНКС-9, $x(9) = 2757.414613$ и $y(9) = 1614.295859$ км, им соответствуют широта $\varphi(9) = 59.899246^0$ и долгота $\psi(9) = 30.346336^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 321-32: 8 (Колпинский автобусный парк), 49 (ТС на ГМТ Курортного р-на), 12 (ООО Питеравто, Филиал Колпино) и 13 (ООО Питеравто, Филиал Петергоф). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-9 соответственно 46, 72, 98 и 43 (из 69) ГБА. Время работы АГНКС-9, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается в 6,990 ч;

9) на девятом шаге итерации находим координаты АГНКС-10, $x(10) = 2757.273182$ и $y(10) = 1614.096427$ км, им соответствуют широта $\varphi(10) = 59.901562^0$ и долгота $\psi(10) = 30.344531^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблице 31-32: 13 (ООО Питеравто, Филиал Петергоф), 53 (ТС на ГМТ Фрунзенского р-на), 39 (ТС на ГМТ Кировского р-на) и 44 (ТС на ГМТ Пушкинского - Павловского р-на). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-10 соответственно 26, 467, 412 и 41 (из 194) ГБА. Время работы АГНКС-10, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается в 18,430 час.;

10) на десятом шаге итерации находим координаты АГНКС-11, $x(11) =$

2752.707902 и $y(11) = 1611.800186$ км, им соответствуют широта $\varphi(11) = 59.954561^0$ и долгота $\psi(11) = 30.350364^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31-32: 39 (ТС на GMT Кировского р-на), 38 (ТС на GMT Калининского р-на), 46 (ТС на GMT Красногвардейского р-на) и 42 (ТС на GMT Московского р-на). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-11 соответственно 41, 512, 426 и 127 (из 272) ГБА. Время работы АГНКС-11, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей GMT оценивается в 20,425 ч;

11) на одиннадцатом шаге итерации находим координаты АГНКС-12, $x(12) = 2752.707902$ и $y(12) = 1611.800186$ км, им соответствуют широта $\varphi(12) = 59.954561^0$ и долгота $\psi(12) = 30.350364^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31-32: 42 (ТС на GMT Московского р-на), 44 (ТС на GMT Пушкинского - Павловского р-на), 40 (ТС на GMT Петродворцового - Ломоносовского р-на), 43 (ТС на GMT Колпинского р-на) и 48 (ТС на GMT Приморского р-на). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-12 соответственно 145, 153, 137, 198 и 291 (из 589) ГБА. Время работы АГНКС-12, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей GMT оценивается в 18,068 ч;

12) на двенадцатом шаге итерации находим координаты АГНКС-13, $x(13) = 2752.990639$ и $y(13) = 1605.698948$ км, им соответствуют широта $\varphi(13) = 59.984002^0$ и долгота $\psi(13) = 30.253141^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31- 32: 48 (ТС на GMT Приморского р-на), 37 (ТС на GMT Выборгского р-на) и 41 (ТС на GMT Красносельского р-на). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-13 соответственно 298, 537, и 305 (из 388) ГБА. Время работы АГНКС-13, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей GMT оценивается в 21,668 ч;

13) на тринадцатом шаге итерации находим координаты АГНКС-14, $x(14) = 2755.511869$ и $y(14) = 1620.828680$ км, им соответствуют широта $\varphi(14) = 59.881934^0$ и долгота $\psi(14) = 30.464608^0$. Ближайшие потребители с номерами в таблицах 31-32: 45 (ТС на GMT Невского р-на) и 41 (ТС на GMT

Красносельского р-на). Эти потребители смогут заправить на АГНКС-14 соответственно 573 и 83 ГБА. Учитывая объем потребления ГМТ, рассматриваемая АГНКС-14 может быть средней АГНКС. Время ее работы, позволяющее удовлетворить заявки выбранных потребителей ГМТ оценивается в 20,692 ч.

Таким образом, методика формирования инфраструктуры АГНКС СПб по модели «А» может быть выражена алгоритмом действий, представленным в виде блок – схемы на рисунке 3.5.

В конечном итоге, с учётом увеличения парка ГБА Санкт- Петербурга к 2023 г. инфраструктура АГНКС города согласно математической модели « А» должна включать 14 станций (больших и средних), в том числе 2 существующих.

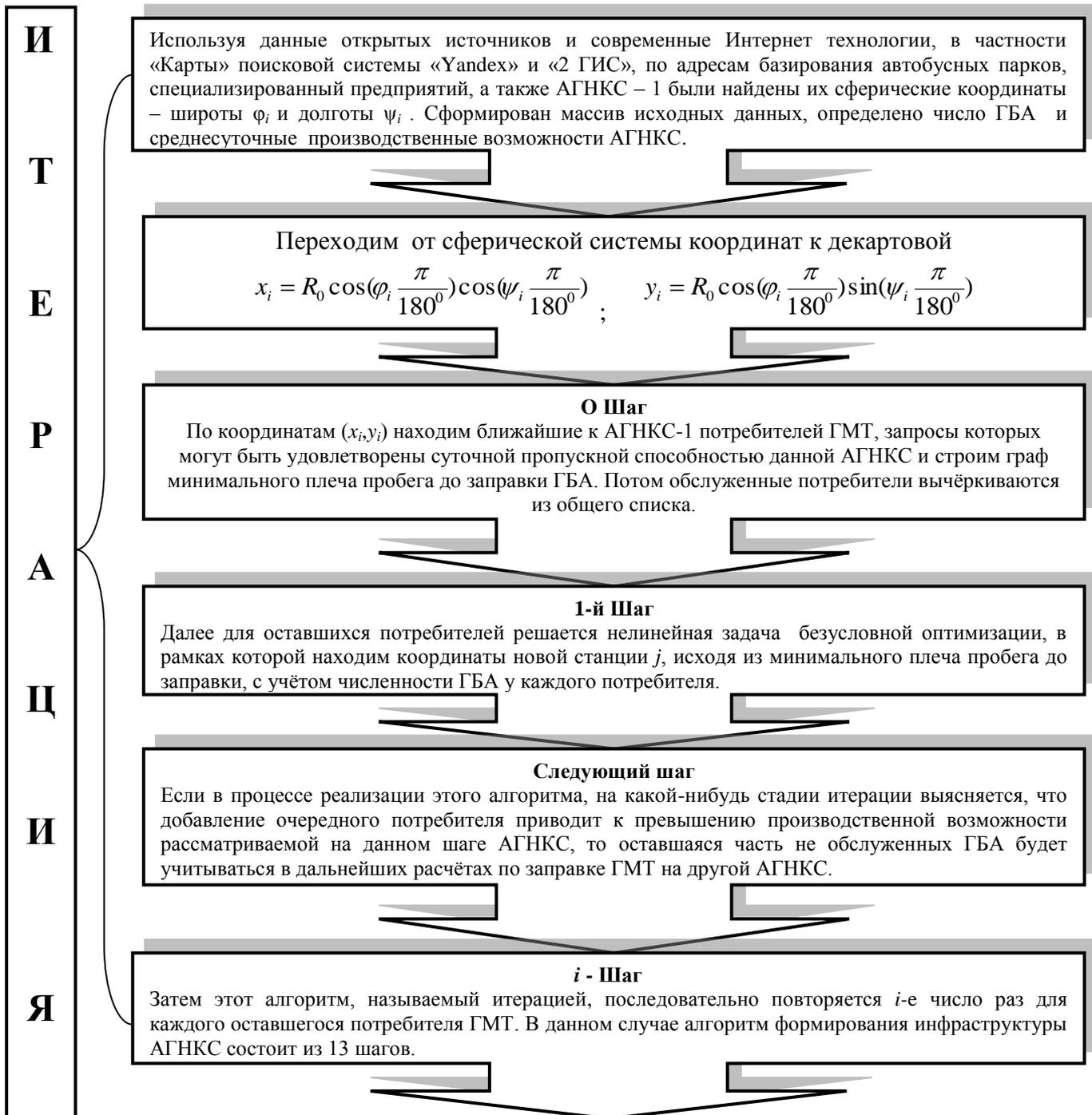


Рисунок 3.5 - Блок-схема алгоритма формирования оптимизационной модели инфраструктуры АГНКС (модель «А»)

Соответствующая графическая модель инфраструктуры АГНКС СПб по модели «А» с географической привязкой на карте Санкт – Петербурга представлена на рисунке 3.6.

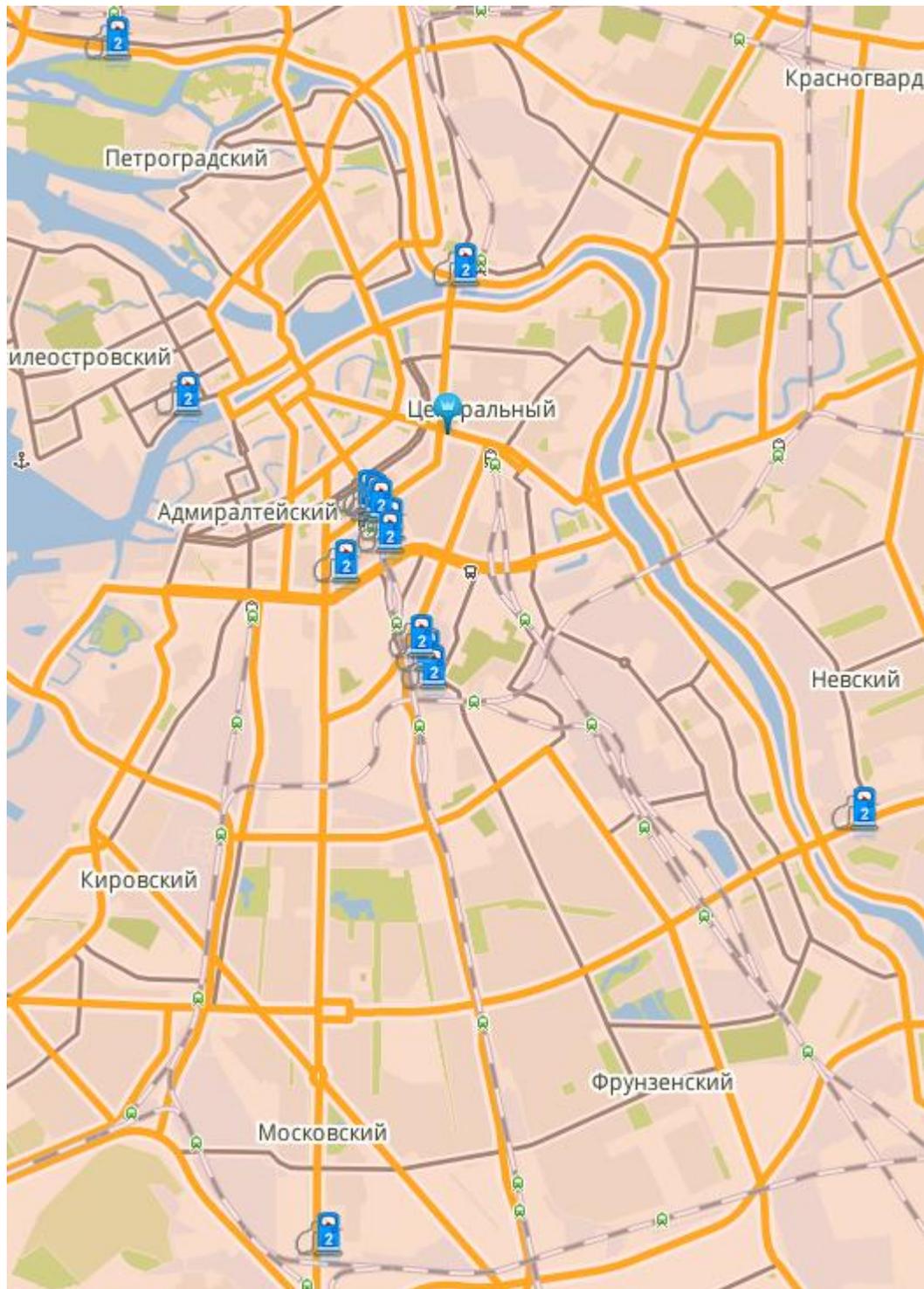


Рисунок 3.6 - Расположение существующей АГНКС-1 и прогнозируемых АГНКС на карте Санкт-Петербурга (по модели «А»)

Анализ полученной графической модели инфраструктуры АГНКС по варианту «А» показывает, что 6 больших АГНКС (N_i) попадают в исторический центр Санкт – Петербурга, а ещё две большие АГНКС (N_i) – в

промышленную зону между Лиговским проспектом и улицей Госина, которые близки к центру города.

Данная география расположения АГНКС сложилась в результате того, что «центр массы» потребителей ГМТ исторически оказался в центральных районах города. Такое расположение АГНКС требует наличие обособленных площадей для их возведения, что является проблематичным по изысканию соответствующих «пятен застройки» [110].

Кроме этого, для периферийных потребителей ГМТ в значительной степени начинает расти индивидуальное плечо заправки, так как по мере увеличения номера итерационного шага они равномерно отодвигаются от центра города. Периферийные АГНКС (не в центре) появляются только после того, как нарушается равномерное распределение потребителей ГМТ, которое наступает после исключения значительной их части из общего списка при удовлетворении соответствующих потребностей. Следовательно, процедура размещения АГНКС с учётом их производительности и по критерию минимального плеча обеспечивает потребителей, находящихся в кольце с радиусом равным этому минимальному плечу. Причём радиус такого кольца возрастает в процессе итерационных вычислений, как показано на рисунке 3.7.

Данный рисунок наглядно иллюстрирует и поясняет схему формирования инфраструктуры АГНКС по модели «А». По всей совокупности потребителей вычисляется «центр массы» F , куда помещается АГНКС-1 (точка-1). Затем выявляются ближайшие к ней потребители, и их число ограничивается производительностью АГНКС – 1. После того, как производительность АГНКС – 1 исчерпана, ближайшие потребители, входящие в круг-1, из дальнейшего рассмотрения удаляются. Далее вычисляется «цент масс» оставшихся потребителей, куда помещается АГНКС-2 (точка-2). После того, как производительность АГНКС-2 будет исчерпана, ближайшие потребители, входящие в круг-2, из дальнейшего рассмотрения удаляются. Аналогично, для оставшихся потребителей вычисляется «центр массы» - точка-3, куда помещается АГНКС – 3 и определяются ближайшие к ней потребители, их число

определяется производительностью АГНКС – 3 и они входят в круг-3 и т.д. Ряд периферийных потребителей может быть распределён ассиметрично (область-4), поэтому их «центр массы» (точка-4) расположен не в центре.

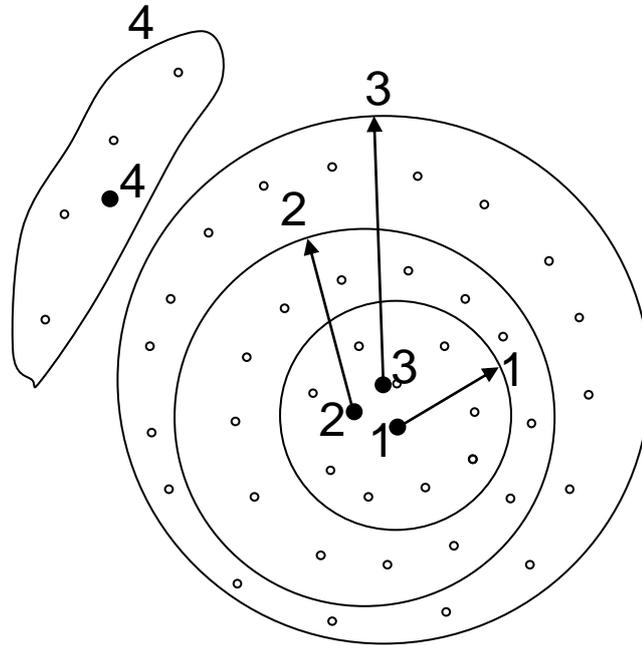


Рисунок 3.7 - Схема расстановки АГНКС по модели «А». Цифрами обозначены условные АГНКС; ° - области «притяжения» потребителей ГМТ

При применении алгоритма итерации размещения АГНКС по критерию минимального плеча пробега до заправки обеспечивает равномерное расположение АГНКС по отношению к потребителям ГМТ.

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» 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.

Выводы по результатам формирования инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «А».

1. При определении необходимого числа АГНКС ограничение по

времени заправки ГБА является существенно более «мягким», а критичным оказывается производственные возможности сети АГНКС удовлетворить среднесуточный поток заявок потребителей на ГМТ.

2. Плюсом является обеспечение усреднённого минимального плеча заправки для всей совокупности потребителей.
3. Модель «А» предполагает размещение большинства АГНКС в границах Санкт – Петербурга, причём в части его плотной застройки, 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»).

3.2.2 Моделирование инфраструктуры АГНКС по варианту «В»

При моделировании инфраструктуры АГНКС по варианту «В» было выполнено районирование городской территории Санкт - Петербурга, т.е. распределить потребителей ГМТ по соответствующим кластерам. Кластер (англ. *cluster* – скопление) – объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определёнными свойствами. При районировании, кластер – территориальное образование внутри мегаполиса, представляющее собой относительно автономную единицу и обеспечивающее своим жителям полный набор городских функций. В данном случае одной из них является удовлетворение потребностей находящихся в нём газомоторного автотранспорта в заправке КППГ.

Разбиение территории Санкт – Петербурга на кластеры осуществлялось в результате анализа географического расположения потребителей ГМТ, причём, в первую очередь, кластеры выбирались так, чтобы их формировали потребители наиболее удалённые от центра города.

Кластер образовывался следующим образом. Территория Санкт – Петербурга условно делилась на 17 кластеров с соответствующими потребителями ГМТ. Выбирался какой-то потребитель, обозначаемый P_1 , оценивался необходимый ему для заправки объём ГМТ

$$V_1 = N_1 v_1, \quad (3.7)$$

и суммарное время заправки

$$T_1 = N_1 t_1. \quad (3.8)$$

где v_1 – объём заправки одного ГБА, м³;

t_1 – время заправки одного ГБА, час;

N_1 – количество ГБА, ед.

Затем находился ближайший к нему другой потребитель P_2 , исходя из условия минимального расстояния пробега k -го потребителя ГМТ до АГНКС $\min_k \{d_{1k}\}$, по формуле:

$$d_{1k} = \sqrt{(x_1 - x_k)^2 + (y_1 - y_k)^2}, \quad (3.9)$$

где x_1, y_1 – координаты P_1 ;

x_k, y_k – координаты потребителя P_k , а минимум ищется по всем потребителям k .

В результате такой минимизации находится потребитель $P_2(x_2, y_2)$ с координатами (x_2, y_2) . Для P_2 также вычислялось требуемое количество ГМТ V_2 и суммарное время заправки T_2 . Для найденных потребителей P_1 и P_2 вычислялся их «центр масс» с координатами x_1 и y_1 , взвешенный по количеству ТС, по следующей зависимости:

$$X_1 = \sum_{i=1}^2 x_i N_i, \quad Y_1 = \sum_{i=1}^2 y_i N_i. \quad (3.10)$$

Далее определяется следующий, третий, потребитель $P_3(x_3, y_3)$ из условия $\min_k \{d_{1k}\}$, ближайший к полученному «центру масс» (x_1, y_1) аналогично зависимости (3.5)

$$\min_k \{d_{2k}\}, \quad d_{2k} = \sqrt{(X_1 - x_k)^2 + (Y_1 - y_k)^2}, \quad (3.11)$$

где x_k, y_k – координаты потребителей за исключением P_1 и P_2 , и оценивались соответствующие ему объём ГМТ V_3 и суммарное время заправки T_3 .

После этого вычисляется новый центр масс (X_2, Y_2) , аналогично зависимости (3.10)

$$X_2 = \sum_{i=1}^3 x_i N_i, \quad Y_2 = \sum_{i=1}^3 y_i N_i, \quad (3.12)$$

и находится ближайший к нему четвёртый потребитель P_4 , с учётом которого вычисляется следующий третий центр масс (X_3, Y_3) , и т.д.

Эта процедура, либо повторяется до тех пор, пока не определятся все потребители, принадлежащие к данному кластеру, либо заканчивается, когда требуемый объём потребления ГМТ (V) или суммарное время заправки (T),

$$V = \sum_i V_i N_i, \quad T = \sum_i T_i N_i, \quad (3.13)$$

превышает возможности АГНКС.

Таким образом, математическая модель инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «В» будет представлена системой уравнений 3.7 – 3.13 в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} &V_1 = N_1 v_1, \\ &T_1 = N_1 t_1, \\ &\min_k \{d_{1k}\}, \quad d_{1k} = \sqrt{(x_1 - x_k)^2 + (y_1 - y_k)^2}, \\ &X_1 = \sum_{i=1}^2 x_i N_i, \quad Y_1 = \sum_{i=1}^2 y_i N_i, \\ &\min_k \{d_{2k}\}, \quad d_{2k} = \sqrt{(X_1 - x_k)^2 + (Y_1 - y_k)^2}, \\ &X_2 = \sum_{i=1}^3 x_i N_i, \quad Y_2 = \sum_{i=1}^3 y_i N_i, \\ &V = \sum_i V_i N_i, \quad T = \sum_i T_i N_i, \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

где V_1 – необходимый для заправки суммарный объём ГМТ (у первого потребителя), м³;

N_1 – количество ТС (у первого потребителя), ед.;

v_1 – объём заправки одного ГБА, м³;

t_1 – время заправки одного ГБА, час;

T_1 – суммарное время заправки у первого потребителя, час;

x_1, y_1 – координаты потребителя P_1 ;

x_k, y_k – координаты потребителя P_k ;

X_i и Y_i – координаты центра масс;

$\min_k \{d_{1k}\}$ – минимальное расстояние пробега k – го потребителя ГМТ до АГНКС;

V – суммарный объём ГМТ у всех потребителей, м³;

V_i – объём ГМТ у i -го потребителя, м³;

N_i – ГБА количество ГБА у i -го потребителя, ед.;

T – суммарное время заправки всеми потребителями ГМТ, час;

T_i – время заправки i -го потребителя, час.

При формировании инфраструктуры АГНКС по модели «В» потребители описываются в соответствии с их порядковыми номерами указанных в таблицах Приложения Г, а их характеристики, входящие в тот или иной кластер поясняются в круглых скобках.

В рамках модели «В», учитывается, что появилась новая средняя АГНКС, расположенная по адресу пр. Стачек, д. 47, которая в дальнейшем обозначается АГНКС-2. С учётом существующих АГНКС-1, по адресу Пулковское шоссе, д.42А и АГНКС-2, находим ближайших к ним потребителей, используя модель центра масс. 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 образом, естественным способом получаем два первых кластера вокруг АГНКС-1 и АГНКС-2. Алгоритм моделирования инфраструктуры АГНКС по варианту «В» показан на рисунке 3.8.

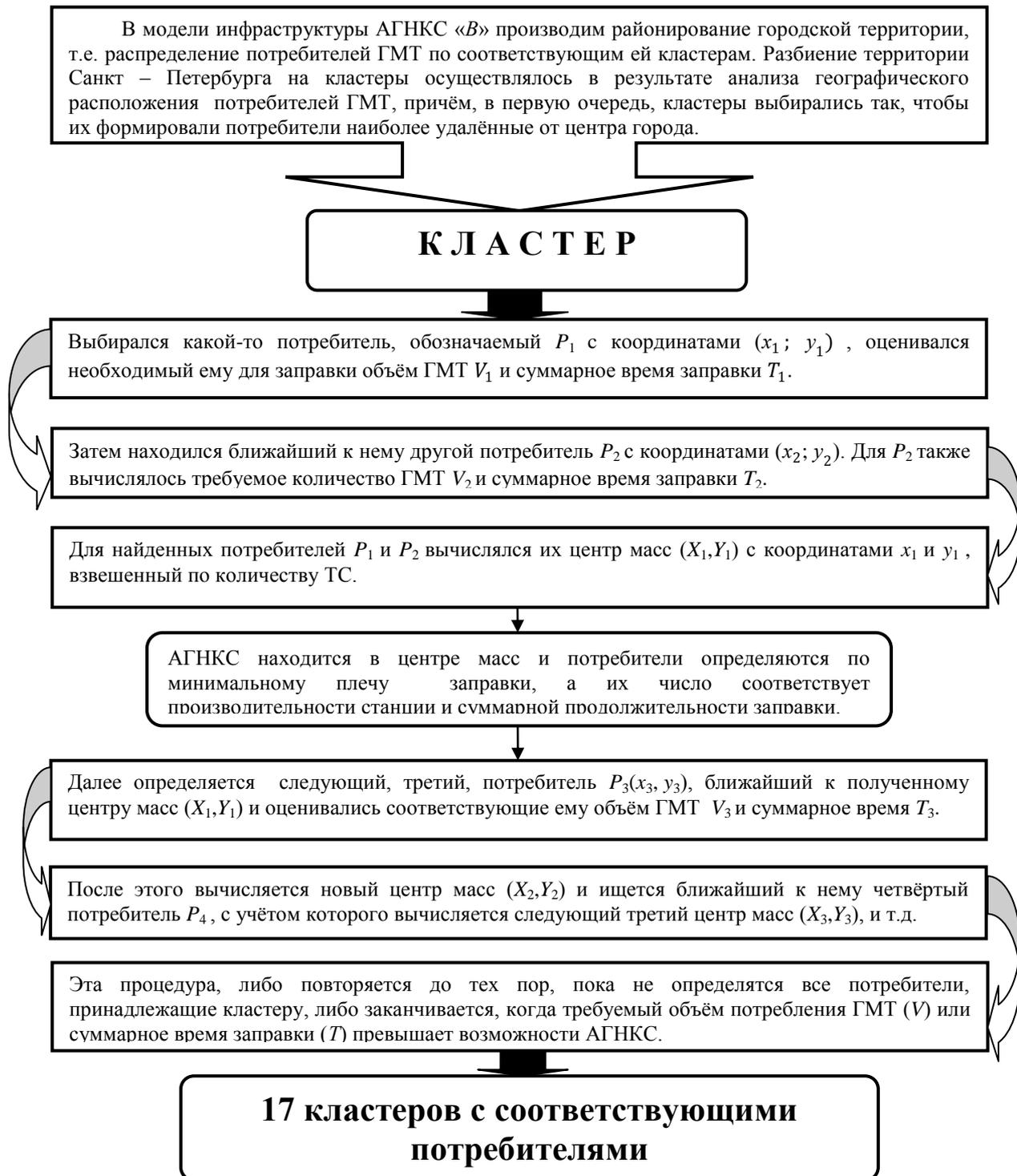


Рисунок 3.8 - Алгоритм моделирования инфраструктуры АГНКС по варианту «В»

К первому кластеру (**Кластер-1**) относится только АП №7, головное предприятие, (Приложение Г) из 176 автобусов которого на АГНКС-1 из-за её малой производительности 14400 м^3 может осуществлять заправку только 80 ТС, а остальные должны будут относиться к другому кластеру. Время работы АГНКС-1 составляет 13,2 ч.

Аналогично, во второй кластер (**Кластер-2**) входят 4 АТП – (АП №5) с 79-ю автобусами, 21 (Спец. АТП, Адмиралтейская а/к) с 96-ю ТС, 27 (Спец. АТП, Московская а/к) с 93-я ТС. Эти потребители могут обслуживаться на АГНКС-2, время её работы 10,37 ч.

Кластер-3. В этот кластер входят 3 потребителя: 11 (ООО Питеравто, филиал Пушкин) с 55-ю автобусами, 7 (АП №7, производство 2) с 54-я автобусами, 24 (Спец. АТП, Октябрьская а/к) с 76 ТС. Учитывая объём потребления ГМТ, для этого кластера планируется для 11 и 7 потребителей средняя АГНКС-3, с координатами $x(3) = 2769.8185$ и $y(3) = 1625.9668$ (км), им соответствуют широта $\varphi(3) = 59.726506^\circ$ и долгота $\psi(3) = 30.414216^\circ$, а для 24 потребителя малая (2 поста) АГНКС-3а с координатами $x_a(3) = 27689.1158$ и $y_a(3) = 1625.6733$ (км), т.е. $\varphi_a(3) = 59.743236^\circ$ и $\psi_a(3) = 30.425391^\circ$. Продолжительность работы АГНКС-3 и АГНКС-3а составляют 5,45 и 18, 61 ч соответственно.

Кластер-4. К этому кластеру относятся 3 потребителя: 43 (ТС на ГМТ Колпинского р-на) со 198 ТС; 12 (ООО Питеравто, Филиал Колпино) с 98-ю автобусами; 8 (Колпинский автобусный парк) с 96-ю автобусами. В соответствии с потреблением планируется для 12 и 8 потребителя большая АГНКС-4 с координатами $x(4) = 2762.4663$ и $y(4) = 1632.9810$ (км), широта $\varphi(4) = 59.755394^\circ$ и долгота $\psi(4) = 30.588674^\circ$ (вместо большой АГНКС для удобства потребителей можно поставить среднюю и малую (4 поста) АГНКС в том же месте), а для 43 потребителя малая (2 поста) АГНКС-4а с $x_a(4) = 2760.6353$ и $y_a(4) = 1632.3615$ (км), широта $\varphi_a(4) = 59.775082^\circ$ и долгота $\psi_a(4) = 30.595792^\circ$. Время обслуживания на АГНКС-4 оценивается в 5,73 ч (3,43 и 2,92 ч при замене большой АГНКС-4 на среднюю и малую), а АГНКС-4а – 18,76 ч.

Кластер-5. Этот кластер включает 4 потребителя: 13 (ООО Питеравто, Филиал Петергоф) с 69 автобусами; 40 (ТС на ГМТ Петродворцового - Ломоносовского р-на) с 137-ю ТС; 52 (ТС на ГМТ Кронштадского р-на) с 45-ю ТС; 41 (ТС на ГМТ Красносельского р-на) с 388-ю ТС. Этому кластеру приписывается, либо для всех потребителей большая АГНКС-5 с координатами $x(5) = 2772.4417$ и $y(5) = 1601.1140$ (км), широта $\varphi(5) = 59.833064^\circ$ и долгота $\psi(5) =$

30.005882⁰, либо для 13, 40 и 52 потребителей средняя АГНКС-5а $x_a(5) = 2772.5300$ и $y_a(5) = 1592.5777$ (км), $\varphi_a(5) = 59.876586^0$ и $\psi_a(5) = 29.873627^0$ и для 41 потребителя малая АГНКС-5б с $x_b(5) = 2772.7398$ и $y_b(5) = 1608.7117$ (км), $\varphi_b(5) = 59.790479^0$ и $\psi_b(5) = 30.121814^0$. Время работы АГНКС-5 прогнозируется 13,10 ч, а АГНКС-5а и АГНКС-5в – 9,71 и 18,17 ч соответственно.

Кластер-6. В кластер входят 4 потребителя: 49 (ТС на ГМТ Курортного р-на) с 72-я ТС; 48 (ТС на ГМТ Приморского р-на) с 589-ю ТС; 37 (ТС на ГМТ Выборгского р-на) с 537-ю ТС; 3 (АП №2, головное предприятие) с 135-ю автобусами. Предполагается, что 49 и 48 потребители будут заправляться на средней АГНКС-6 с координатами $x(6) = 2752.0880$ и $y(6) = 1600.7984$ (км), $\varphi(6) = 60.017715^0$ и $\psi(6) = 30.185145^0$. А 37 и 3 потребители – на двух средних АГНКС-6а,б расположенные рядом, с $x_a(6) = 2745.1340$ и $y_a(6) = 1599.6580$ (км), $\varphi_a(6) = 60.086515^0$ и $\psi_a(6) = 30.229019^0$. Время работы АГНКС-6 составляет 21,25 ч, АГНКС-6а,б – по 11,88 ч соответственно.

Кластер-7. Кластер содержит одного 38-го потребителя (ТС на ГМТ Калининского р-на) с 512-ю ТС, которые обслуживаются малой (4 поста) АГНКС-7 с координатами $x(7) = 2747.3678$ и $y(7) = 1611.5662$ (км), $\varphi(7) = 60.033642^0$ и $\psi(7) = 30.395270^0$ и временем работы круглосуточно.

Кластер-8. К кластеру относятся 3 потребителя: 5 (АП № 6) с 63-я автобусами; 10 (ООО Питеравто, Филиал Энергетиков) с 84-я автобусами; 46 (ТС на ГМТ Красногвардейского р-на) с 426-ю ТС. Их могут обслужить две средних АГНКС, 5 и 10 потребители на АГНКС-8 с координатами $x(8) = 2748.9032$ и $y(8) = 1615.6063$ (км), $\varphi(8) = 59.968646^0$ и $\psi(8) = 30.443929^0$ и временем работы 7,35 ч, а 46 потребитель на АГНКС-8а с координатами $x_a(8) = 2748.0712$ и $y_a(8) = 1616.2799$ (км), $\varphi_a(8) = 59.972550^0$ и $\psi_a(8) = 30.461943^0$ и временем работы 13,76 ч.

Кластер-9. Кластер включает в себя 4 потребителя: 51 (ТС на ГМТ Петроградский р-на) с 0165-ю ТС; 25 (Спец.АТП, Каменноостровская а/к) с 89-ю ТС; 26 (Спец.АТП, Петроградская а/к) с 67-ю ТС; 14 (ОАО «Третий парк») со 148-ю автобусами. Потребитель 14 использует среднюю АГНКС-9 с координатами $x(9) = 2750.7929$ и $y(9) = 1608.7121$ (км), $\varphi(9) = 59.987930^0$ и $\psi(9) = 30.319847^0$ и

временем работы 7,40 ч, а потребители 25, 26 и 51 используют малую (4 поста) АГНКС-9а с $x_a(9) = 2753.5141$ и $y_a(9) = 1608.0648$ (км), $\varphi_a(9) = 59.966381^0$ и $\psi_a(9) = 30.284580^0$ и временем работы 16,0 ч.

Кластер-10. Кластер составляют 5 потребителей: 50 (ТС на GMT Василеостровского р-на) с 240-ТС; 22 (Спец.АТП, Василеостровская а/к) с 73-я ТС; 23 (Спец.АТП, Гаванская а/к) с 68-ю ТС; 24 24 (Спец.АТП, Октябрьская а/к) с 76 ТС; 36 (Спец.АТП, Транспортная а/к) с 207-ю ГБА. Эти потребители могут быть удовлетворены на двух малых (по 4 поста) АГНКС. Для 50, 22 и 23 потребителей АГНКС-10 с координатами $x(10) = 2757.0000$ и $y(10) = 1607.2426$ (км), $\varphi(10) = 59.939943^0$ и $\psi(10) = 30.240814^0$ и временем работы по 18,6 ч. Для 24 и 36 потребителей АГНКС-10а с $x_a(10) = 2756.6488$ и $y_a(10) = 1607.4254$ (км), $\varphi_a(10) = 59.911621^0$ и $\psi_a(10) = 30.248360^0$ и временем работы по 14,40 ч.

Кластер-11. Составляет 4 потребителя: 6 (АП №7 – головное предприятие) с оставшимися 80 автобусами на GMT; 29 (Южная а/к) с 67-ю ГБА; 30 (Пулковская а/к) с 916-м ГБА; 42 (ТС на GMT Московского р-на) с 435-ю ГБА. В этом кластере устанавливаются две средние АГНКС. Для потребителей 30 и 42 ставится АГНКС11 с координатами $x(11) = 2764.7621$ и $y(11) = 1616.0661$ (км), $\varphi(11) = 59.824000^0$ и $\psi(11) = 30.307253^0$ и временем работы 17,05 ч. Для потребителей 6 и 29 – АГНКС11а с координатами с координатами $x_a(11) = 2764.3708$ и $y_a(11) = 1615.7617$ (км), $\varphi_a(11) = 59.829113^0$ и $\psi_a(11) = 30.306084^0$ и временем работы 7,08 ч.

Кластер-12. В этом кластере находится: 45 потребителей (ТС на GMT Невского р-на) с 573-я ГБА, которые могут заправляться на средней АГНКС-12 с координатами $x(12) = 2755.5122$ и $y(12) = 1620.8285$ (км), $\varphi(12) = 59.881932^0$ и $\psi(12) = 30.464602^0$ и временем работы 13,16 ч.

Кластер-13. В этот кластер входят потребители: 53 (ТС на GMT Фрунзенского р-на) с 467-ю ГБА; 31 (Спец.АТП, Невская а/к) с 85 ГБА; 33 (Спец.АТП, Купчинская а/к) с 67 ГБА; 34 (Спец.АТП, Фрунзенская а/к) с 73-я ГБА; 9 (ООО Питеравто, Филиал Салова) с 77-ю автобусами на GMT. Здесь планируется использовать две средние АГНКС. Для потребителей 53 и 31

АГНКС-13 с координатами $x(13) = 2758.9599$ и $y(13) = 1618.8736$ (км), $\varphi(13) = 59.861319^0$ и $\psi(13) = 30.433112^0$ и временем работы 17,82 ч. Для потребителей 33, 34 и 9 АГНКС-13а с $x_a(13) = 2756.2952$ и $y_a(13) = 1615.4895$ (км), $\varphi_a(13) = 59.901316^0$ и $\psi_a(13) = 30.374952^0$ и временем работы 8,60 ч.

Кластер-14. К этому кластеру относятся 5 потребителей: 1 (АП №1, производство 2) с 48-ю автобусами на ГМТ; 16 16 (Спец.АТП, Центральная а/к 2) с 86-ю ГБА; 18 (Спец.АТП, Суворовская а/к) с 89-ю ГБА; 20 (Спец.АТП, Кременчугская а/к) с 85-ю ГБА; 32 (Спец.АТП, 2-й луч а/к) с 74-я ГБА. Эти потребители должны обслуживаться двумя малыми (4 поста) АГНКС. Для потребителей 1 и 16 АГНКС-14 с координатами $x(14) = 2754.2939$ и $y(14) = 1615.3479$ (км), $\varphi(14) = 59.921704^0$ и $\psi(14) = 30.390919^0$ со временем работы 7,98 ч. Для потребителей 18, 20 и 32 АГНКС-14а с $x_a(14) = 2754.4605$ и $y_a(14) = 1615.1283$ (км), $\varphi_a(14) = 59.921365^0$ и $\psi_a(14) = 30.386007^0$ со временем работы 8,91 ч.

Кластер-15. К этому кластеру относятся 5 потребителей: 2 (АП №1) с 55-я автобусами на ГМТ; 17 (Спец.АТП, Достоевская а/к) с 78-ю ГБА; 28 (Спец.АТП, Рощинская а/к) с 78-ю ГБА; 35 (Спец.АТП, Лиговская а/к) с 67-ю ГБА; 19 (Спец.АТП, Дворцовая а/к) с 123-я ГБА. Потребители кластера могут обслуживаться двумя малыми (4 поста) АГНКС. Для потребителей 2 и 17 АГНКС-15 с координатами $x(15) = 2756.5770$ и $y(15) = 1613.5727$ (км), $\varphi(15) = 59.910557^0$ и $\psi(15) = 30.342733^0$ со временем работы 7,87 ч. Для потребителей 28, 35 и 19 АГНКС-15а с $x_a(15) = 2757.5818$ и $y_a(15) = 1613.9245$ (км), $\varphi_a(15) = 59.899697^0$ и $\psi_a(15) = 30.339074^0$ со временем работы 13,65 ч.

Кластер-16. В этот кластер входят 3 потребителя: 15 (Спец.АТП, Центральная а/к 1) с 97-ю ГБА; 47 (ТС на ГМТ Адмиралтейского р-на) с 215 ГБА; 54 (ТС на ГМТ Центрального р-на) с 336-ю ГБА. Здесь планируется использовать две малые (4 поста) АГНКС. Для потребителей 47 и 15 АГНКС-16 с координатами $x(16) = 2757.3434$ и $y(16) = 1611.0917$ (км), $\varphi(16) = 59.916999^0$ и $\psi(16) = 30.297372^0$ со временем работы 15,43 ч. Для 54 потребителя АГНКС-16а с $x_a(16) = 2753.9678$ и $y_a(16) = 1613.2570$ (км), $\varphi_a(16) = 59.935615^0$ и $\psi_a(16) =$

30.361503^0 со временем работы 16,46 ч.

Кластер-17. Содержит 39-о потребителя (ТС на ГМТ Кировского р-на) с 412-ю ГБА, которые могут использовать малую (4 поста) АГНКС-17 с координатами $x(17) = 2762.2225$ и $y(17) = 1611.9651$ (км), $\varphi(17) = 59.868320^0$ и $\psi(17) = 30.266784^0$ со временем работы 19,74 ч

Выводы по моделированию инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «В»

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 пробегов до заправки ГБА.

В соответствии со «Стратегией социально - экономического развития Санкт-Петербурга до 2030 года» [110] 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.

На основании изложенного, для удовлетворения потребностей в ГМТ всей совокупности заявителей, транзитного автотранспортного потока, учитывая, что Санкт – Петербург входит в международный проект «Голубой коридор», в рамках которого организовано автомобильное сообщение Финляндия – Италия с использованием КПП, расположим инфраструктуру АГНКС в окрестностях КАД, используя имеющиеся с неё съезды. С этой целью предложен вариант формирования инфраструктуры АГНКС СПб по модели «С».

Прогнозируемая инфраструктура АГНКС на карте СПб по варианту «В» показана на рисунок 3.9.

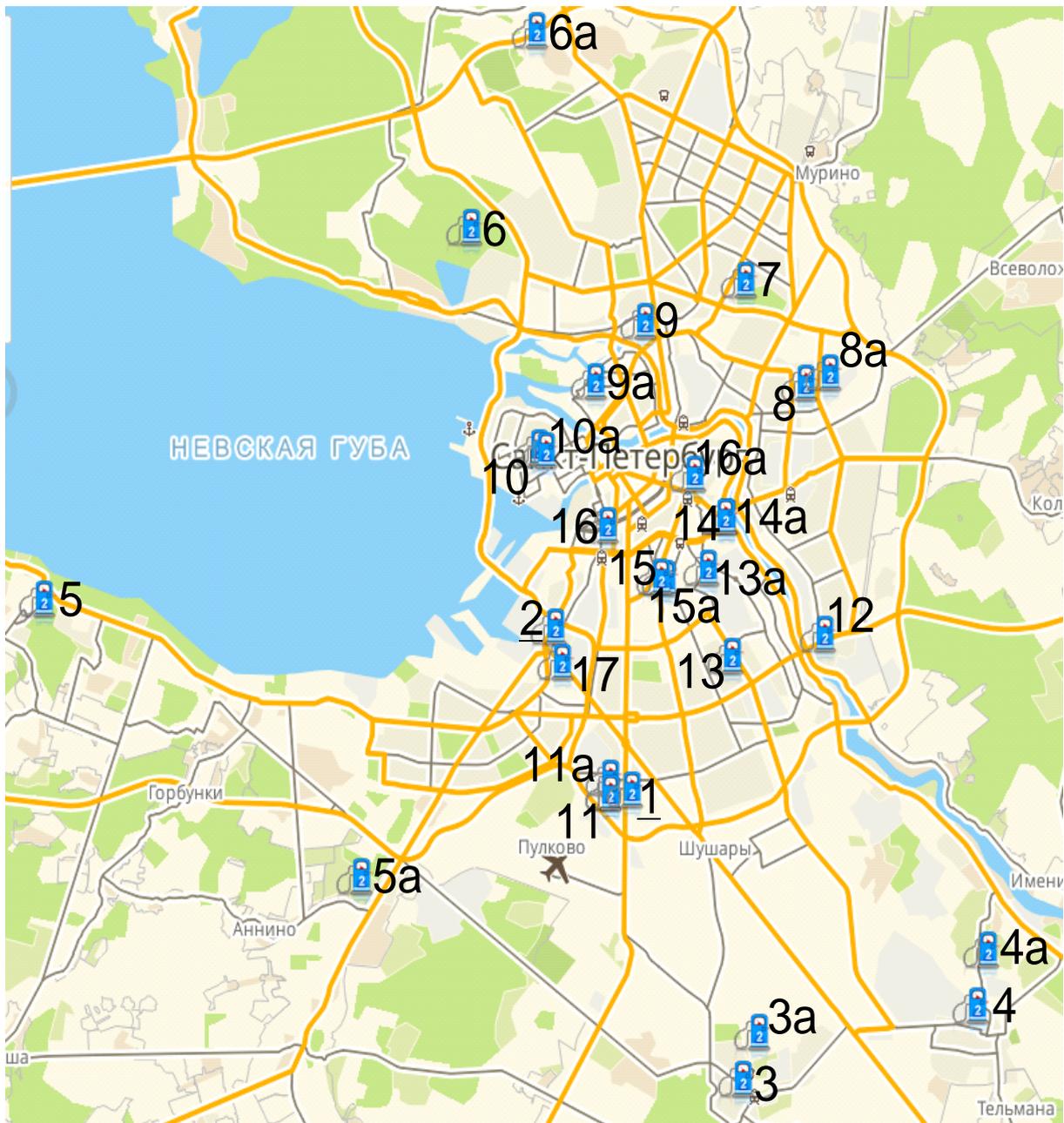


Рисунок 3.9 - Географическая модель прогнозируемой инфраструктуры АГНКС Санкт – Петербурга по варианту «В» (1,1а...17 – кластеры и входящие в них АГНКС)

3.2.3. Моделирование инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «С»

Транзитные потоки проходят по 5 наиболее загруженным трассам в точках пересечения с КАД: Выборгское, Мурманское, Московское, Киевское и Таллинское. Данные интенсивности на вылетных магистралях СПб были получены с помощью датчиков автоматизированного учёта СПб ГБУ «Центр транспортного планирования Санкт – Петербурга» [128]. Исходя из этого, проанализируем и рассмотрим дифференцированную характеристику транзитных автотранспортных потоков СПб.

На Выборгском шоссе среднесуточный поток АТС в обоих направлениях составляет 59739 ТС (легковых автомобилей 31401, грузовиков массой меньше 5 т – 20096, грузовиков массой от 5 до 12 т – 6040, грузовиком массой от 12 до 20 т – 2706, грузовиков массой больше 20 т – 1654, неопознанных автомобилей - 4216), из них предположительно 0,5 % будет являться ГБА, т.е 299 машин со средним объёмом баллона 118,9 м³, тогда суммарное суточное потребление КПП будет равно 35099 м³, а среднее время заправки 0,255 ч. Интенсивность и структура автотранспортного потока по Выборгскому шоссе представлена на рисунках 3.10 – 3.12.

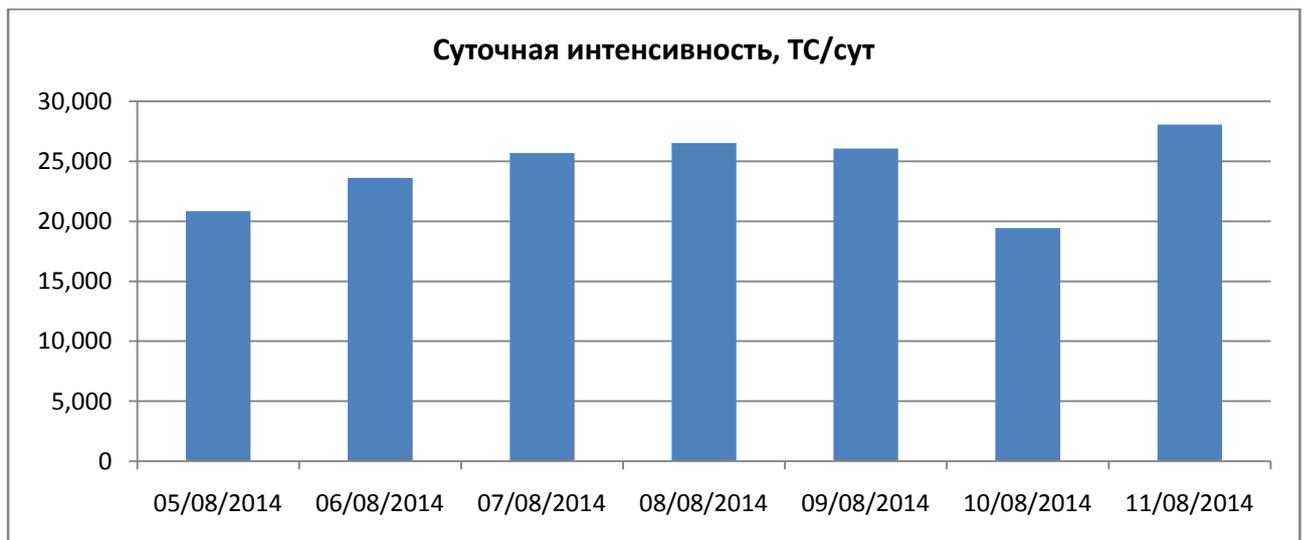


Рисунок 3.10 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Выборгском шоссе по направлению от КАД



Рисунок 3.11 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Выборгском шоссе по направлению к КАД

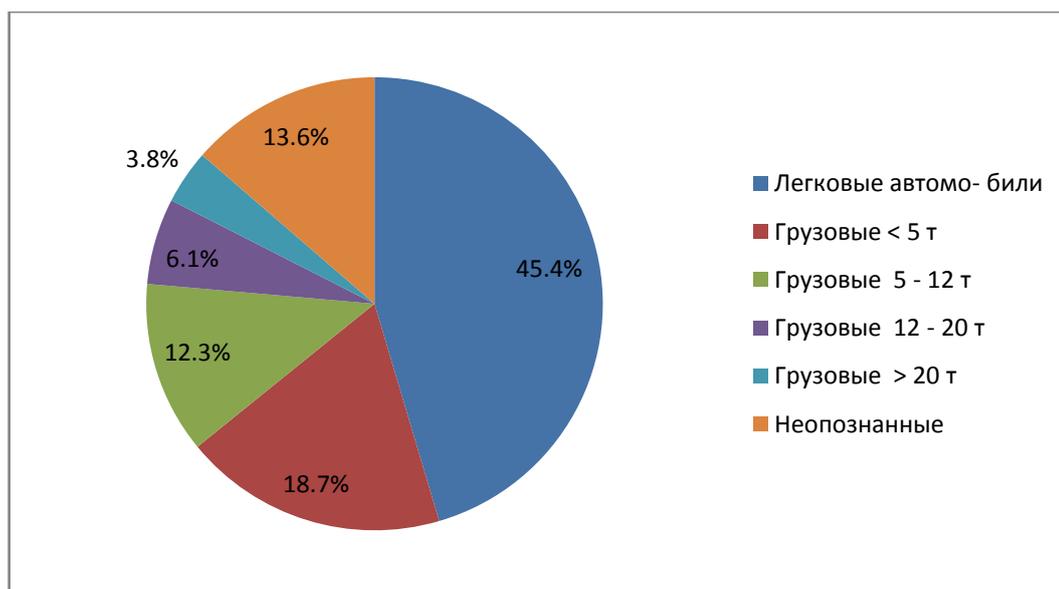


Рисунок 3.12 - Структура автотранспортного потока на Выборгском шоссе

На Мурманском шоссе среднесуточный поток АТС в обоих направлениях составляет 61842 ТС, из них предположительно 0,5 % будет являться ГБА, т.е 309 машин со средним объёмом баллона 98,2 м³, тогда суммарное суточное потребление КППГ будет равно 30312 м³, а среднее время заправки 0,239 ч.

Интенсивность и структура транспортного потока по Мурманскому шоссе представлена на рисунках 3.13 – 3.15.

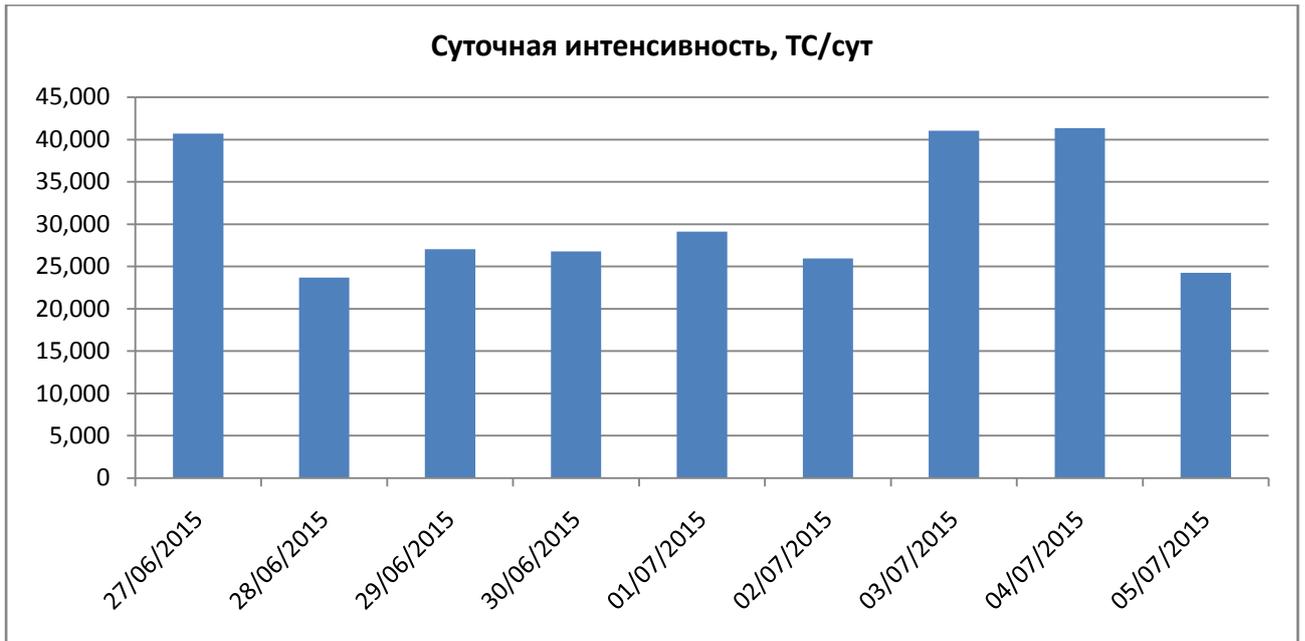


Рисунок 3.13 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Мурманском шоссе по направлению от КАД

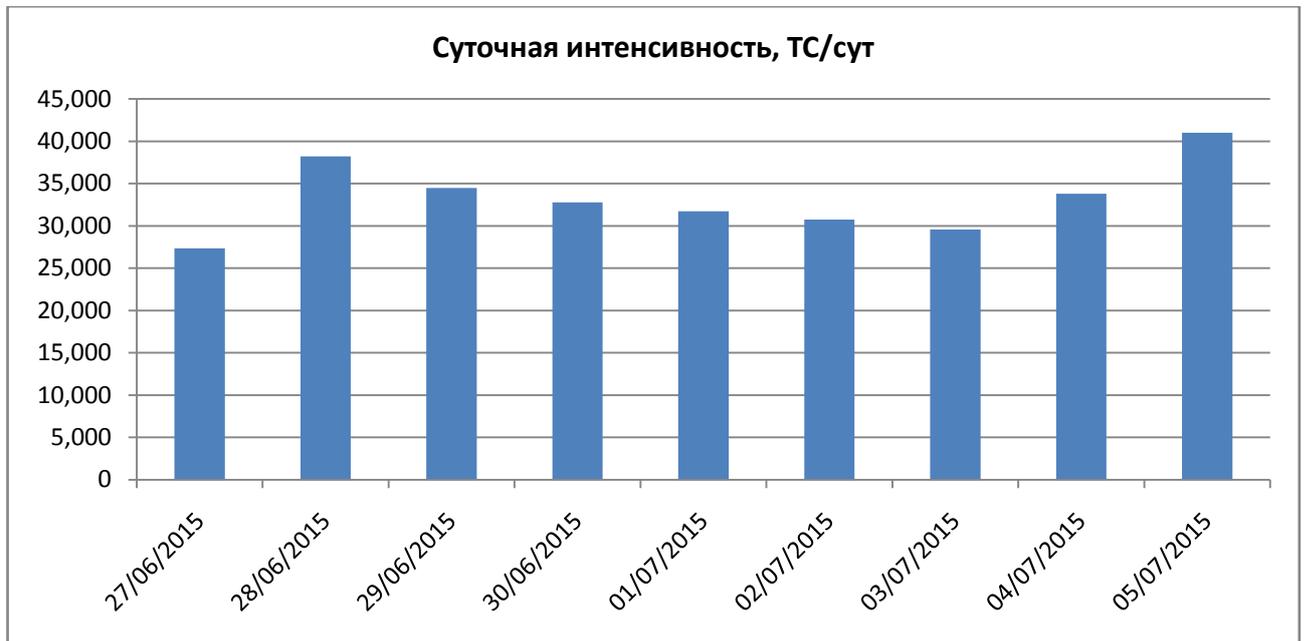


Рисунок 3.14 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Мурманском шоссе по направлению к КАД

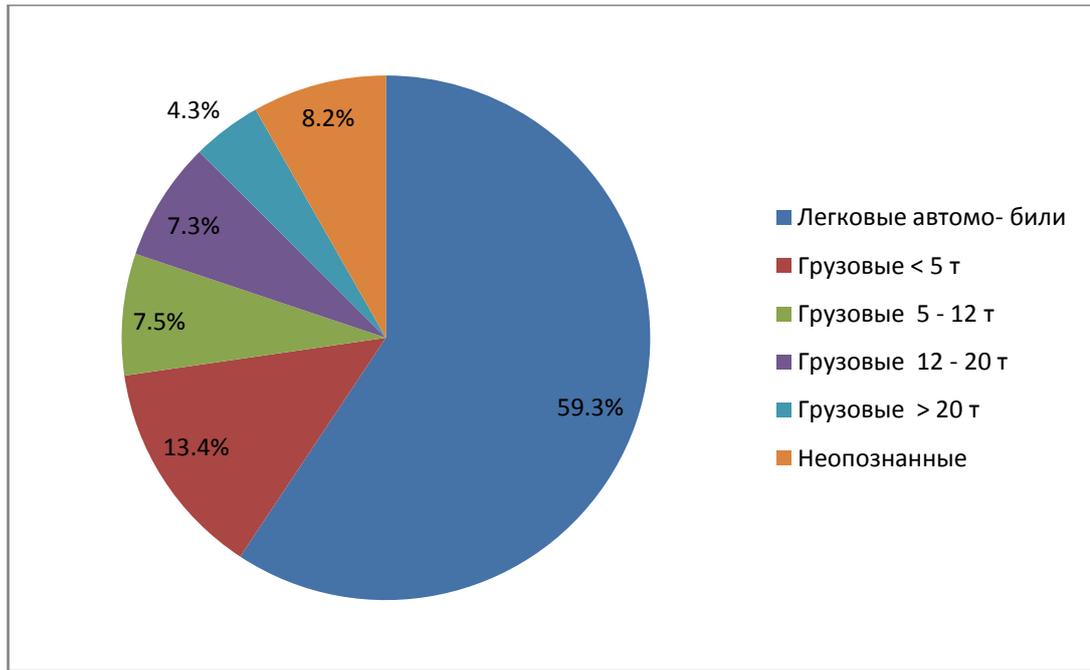


Рисунок 3.15 - Структура автотранспортного потока на Мурманском шоссе

На Московском шоссе среднесуточный поток АТС в обоих направлениях составляет 58854 ТС, из них предположительно 0,5 % будет являться ГБА, т.е 294 машин со средним объёмом баллона 129,9 м³, тогда суммарное суточное потребление КПП будет равно 38234 м³, а среднее время заправки 0,263 ч. Интенсивность и структура транспортного потока по Московскому шоссе представлена на рисунках 3.16 – 3.18.

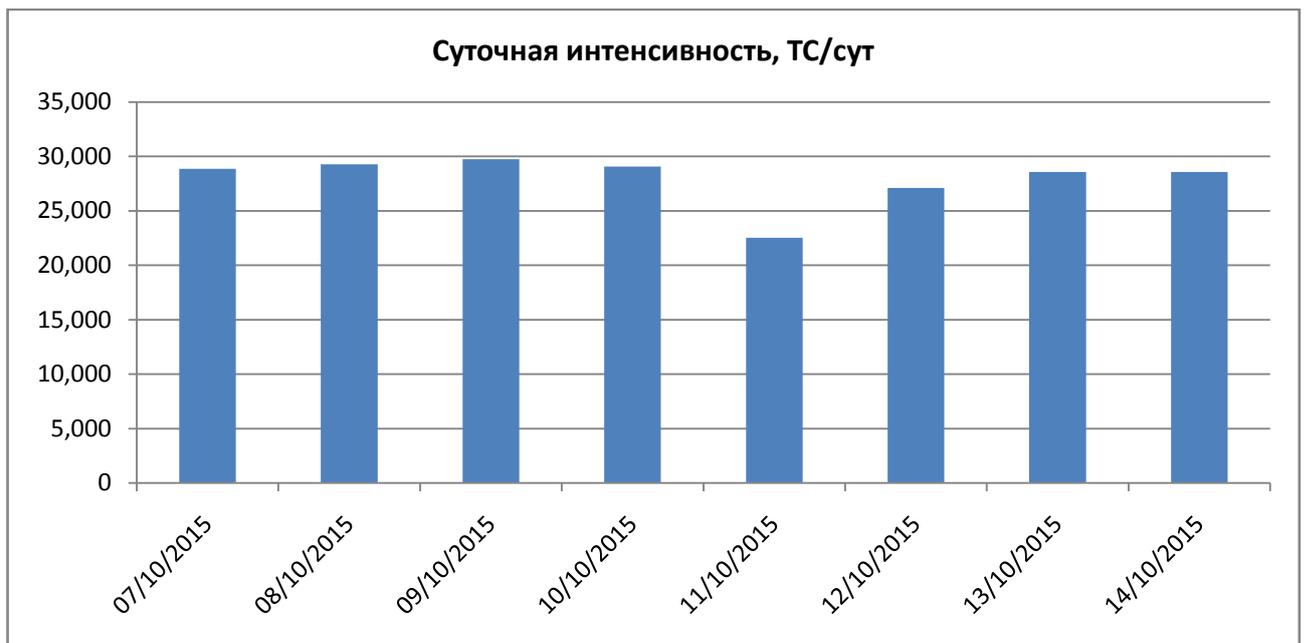


Рисунок 3.16 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Московском шоссе по направлению от КАД

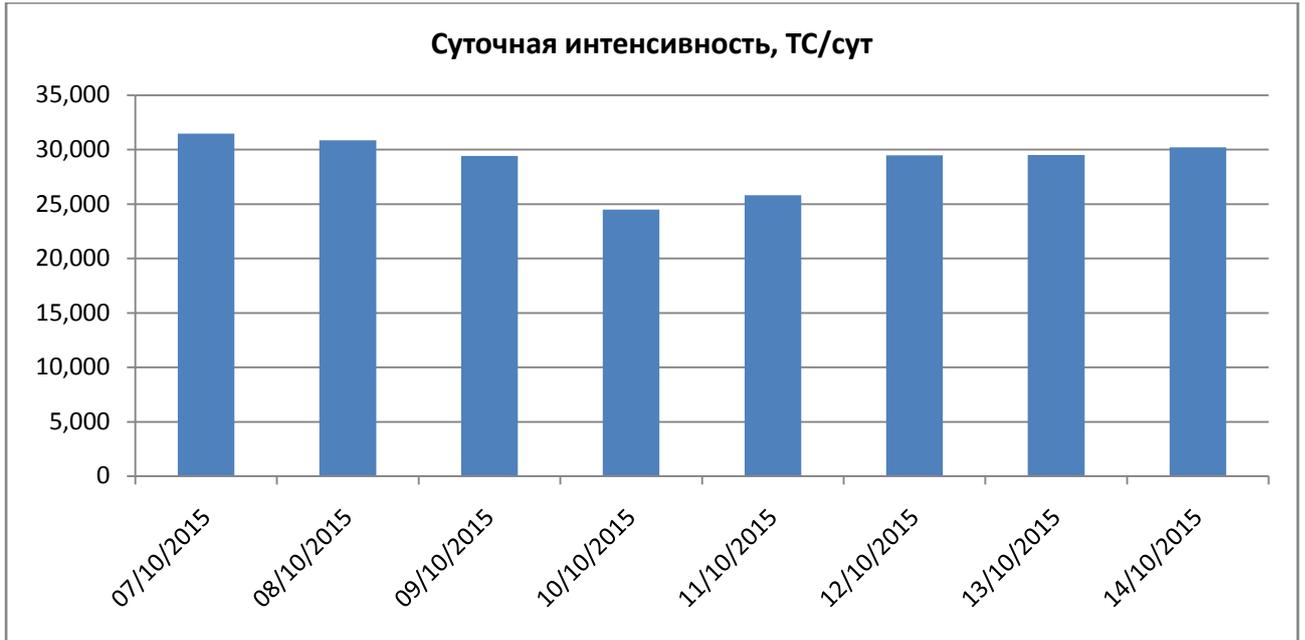


Рисунок 3.17 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Московском шоссе по направлению к КАД

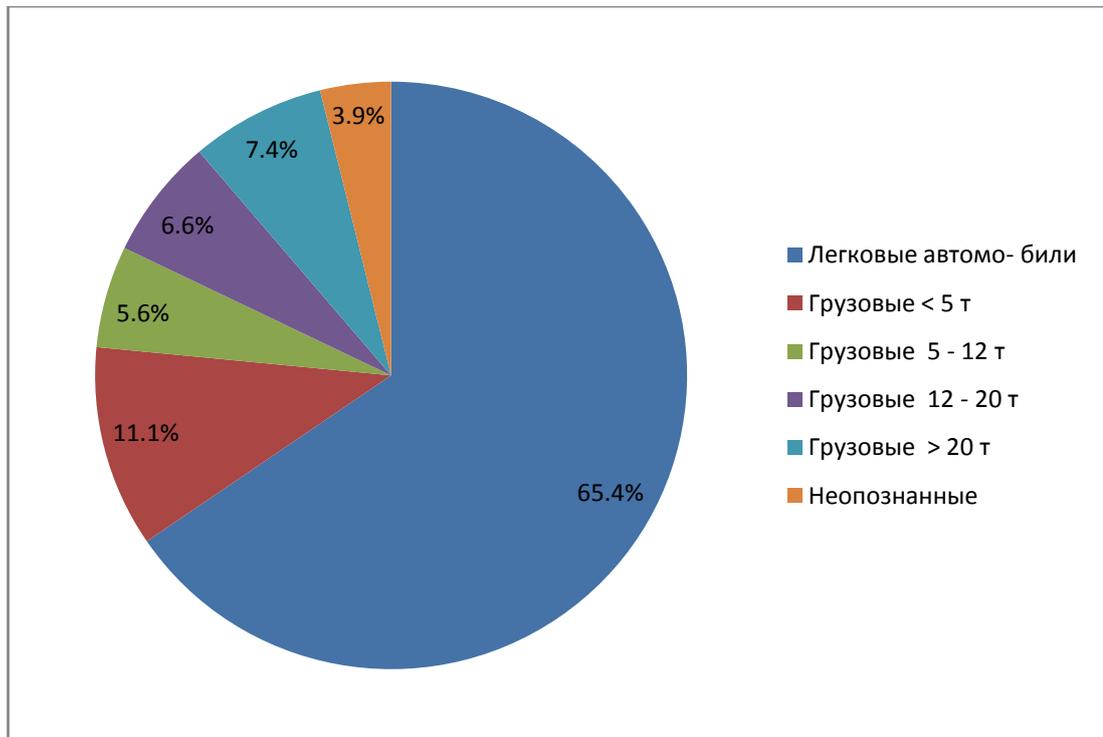


Рисунок 3.18 - Структура автотранспортного потока на Московском шоссе

На Киевском шоссе среднесуточный поток АТС в обоих направлениях составляет 63705 ТС, из них предположительно 0,5 % будет являться ГБА, т.е. 319 машин со средним объёмом баллона 87,7 м³, тогда суммарное суточное

потребление КПП будет равно 27720 м³, а среднее время заправки 0,232 ч. Интенсивность и структура транспортного потока по шоссе представлена на рисунках 3.19 – 3.21.



Рисунок 3.19 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Киевском шоссе по направлению от КАД

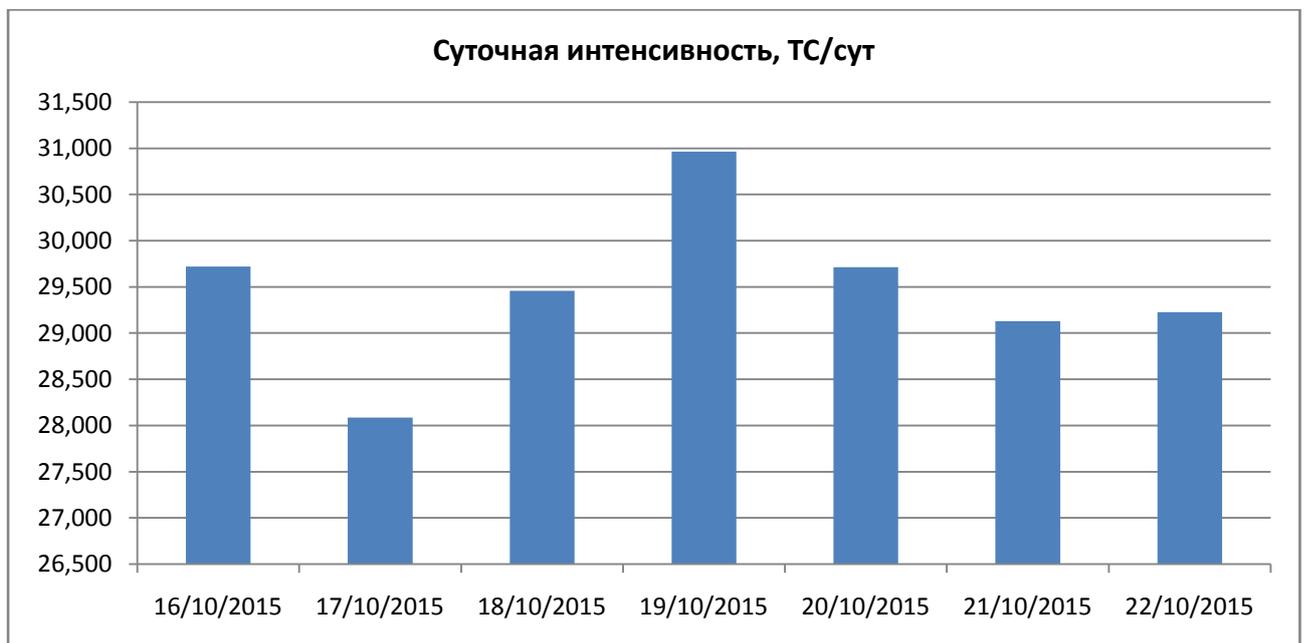


Рисунок 3.20 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Киевском шоссе по направлению к КАД

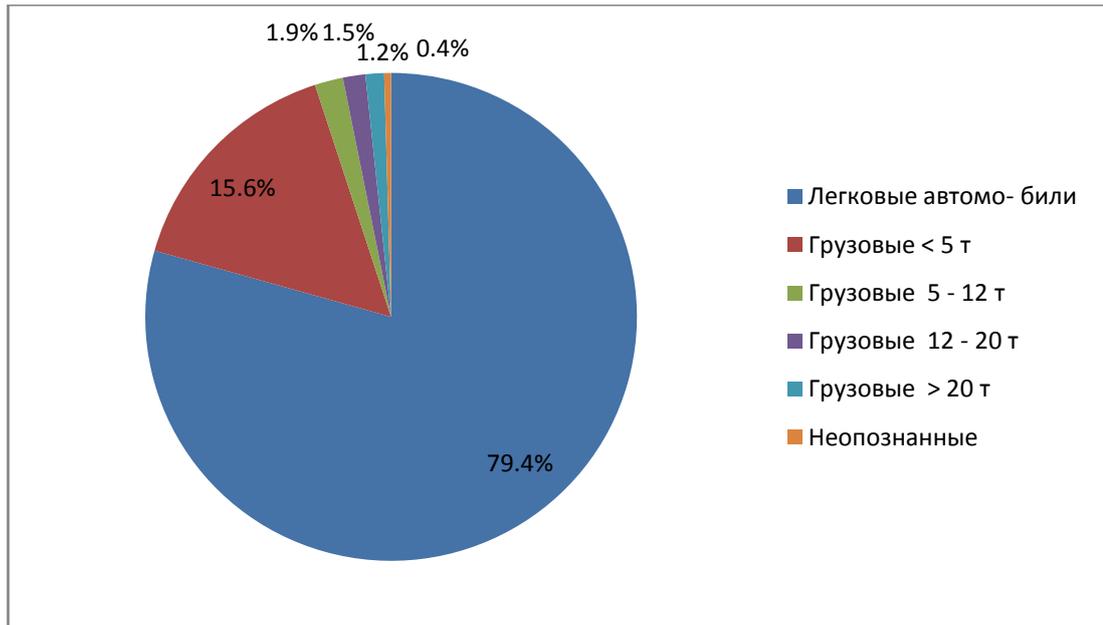


Рисунок 3.21 - Структура автотранспортного потока на Киевском шоссе

На Таллиннском шоссе среднесуточный поток АТС в обоих направлениях составляет 56484 ТС, из них предположительно 0,5 % будет являться ГБА, т.е 253 машин со средним объёмом баллона 100,3 м³, тогда суммарное суточное потребление КППГ будет равно 25296 м³, а среднее время заправки 0,241 ч. Интенсивность и структура транспортного потока по шоссе представлена на рисунках 3.22 – 3.24.

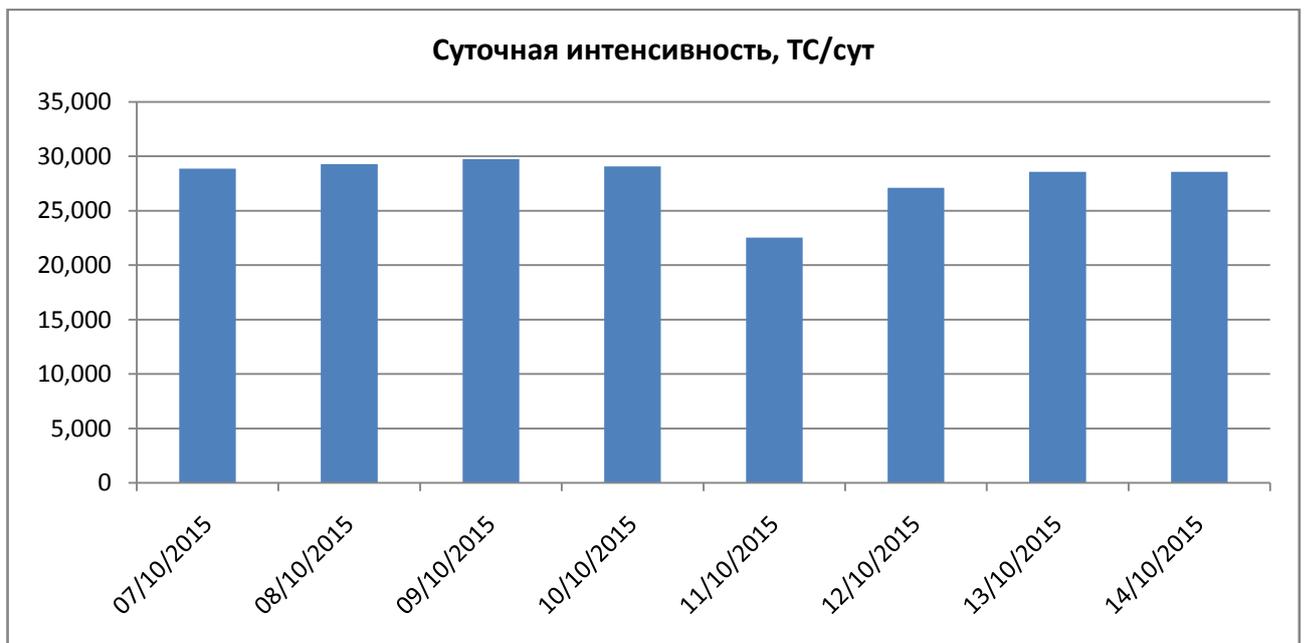


Рисунок 3.22 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на Таллиннском шоссе по направлению от КАД

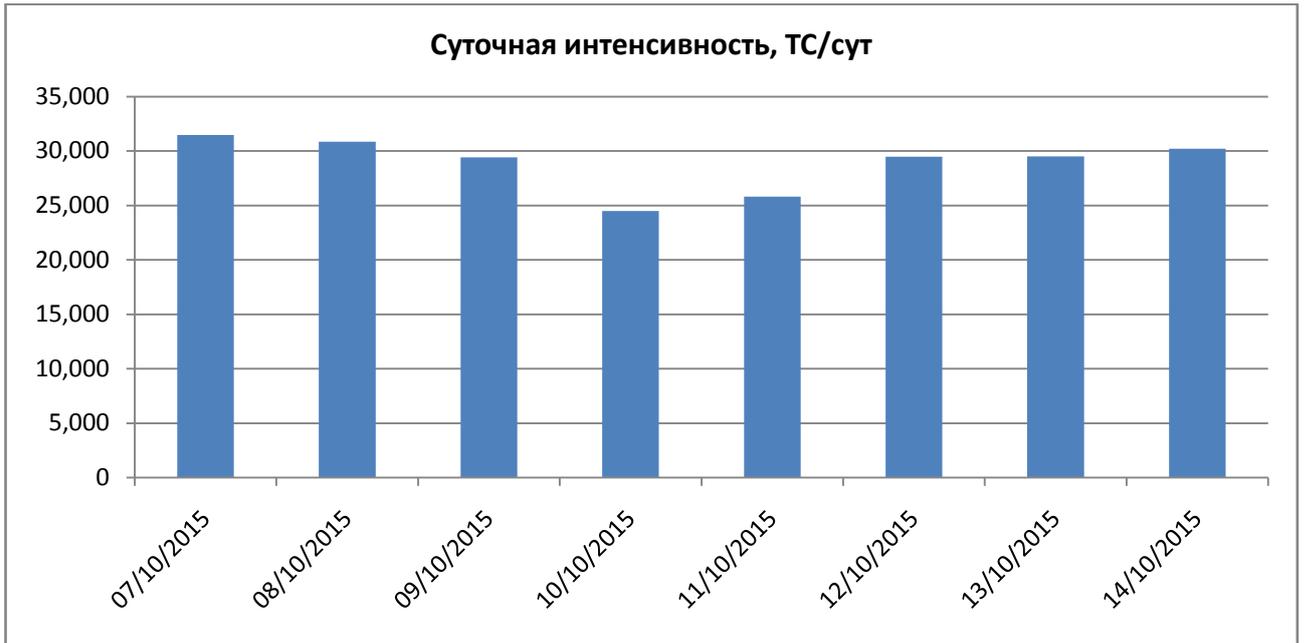


Рисунок 3.23 - Суточная интенсивность автотранспортного потока на
Таллиннском шоссе по направлению к КАД

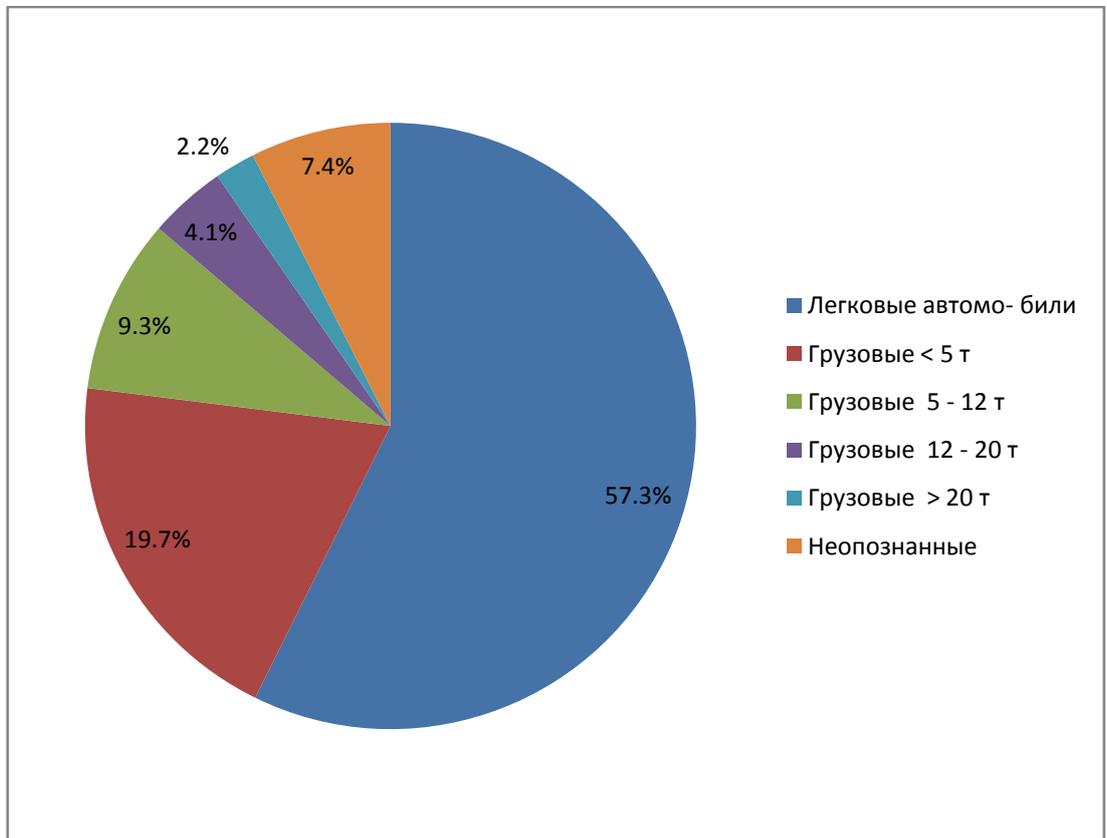


Рисунок 3.24 - Структура автотранспортного потока на Таллиннском шоссе

В результате перечисленных аргументов смоделируем расположение инфраструктуры АГНКС СПб вдоль КАД по варианту «С», в котором, в отличие от моделей «А» и «В» гипотетически расставим АГНКС вдоль КАД на 26 – существующих съездах и дополнительно введём в модель поток транзитных ГБА. Используя критерий «минимального плеча», определим потоки потребителей к предполагаемым АГНКС. Для этой цели разработаем математическую модель инфраструктуры АГНКС СПб с 26-ю – съездами с КАД (пунктами отправления), координаты которых указаны в таблице 3.1 и 54-мя потребителями ГМТ (пунктами назначения).

Пусть A_j соответствуют АГНКС и являются пунктами отправления, $j = 1, 2, \dots, 26$, а B_i – это потребители КПП, т.е. пункты назначения, $i = 1, 2, \dots, 54$, которые имеют заявки на ГМТ, в объёмах V_i .

В качестве переменных для данной модели выберем объём 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 объёмов суточного потребления ГМТ всеми заявителями, временем заправки и производственными возможностями АГНКС.

Тогда ограничения по объёму заправки v_{ij} для потребителей b_i будут иметь вид:

$$\sum_{j=1}^{26} v_{ij} = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, 54, \quad (3.15)$$

где $v_{ij} = n_{ij}v_{0i}$;

$j = 1, 2, \dots, 26$ (число съездов КАД);

b_i – число потребителей КПП, т.е. пункты назначения $i = 1, 2, \dots, 54$;

b_i – число потребителей КПП, т.е. пункты назначения $i = 1, 2, \dots, 54$;

n_{ij} - количество ГБА i -го потребителя, запрашиваемого на j -й АГНКС;

v_{0i} – суточный объём используемого КПП одним ГБА i -го потребителя.

Таблица 3.1 - Координаты съездов с КАД Санкт-Петербурга, где предполагается строительство АГНКС

| № п.п. | Развязка | Широта φ_j град | Долгота ψ_j град | Координата x_j , км | Координата y_j , км |
|--------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Горская | 59.902650 | 29.813018 | 2772.037 | 1588.397 |
| 2 | Левашовское шоссе и Горское шоссе | 60.048436 | 30.062112 | 2752.958 | 1593.403 |
| 3 | Парашютная улица | 60.037742 | 30.244793 | 2748.753 | 1602.691 |
| 4 | Выборгское шоссе | 60.050147 | 30.311314 | 2745.859 | 1605.278 |
| 5 | Пр. Энгельса | 60.051576 | 30.334194 | 2745.099 | 1606.305 |
| 6 | Пр. Культуры | 60.051189 | 30.380178 | 2743.841 | 1608.526 |
| 7 | Мурино | 60.031207 | 30.440527 | 2743.805 | 1612.391 |
| 8 | Пискаревский проспект | 59.990823 | 30.432613 | 2747.381 | 1613.982 |
| 9 | Шафировский проспект | 59.988928 | 30.458565 | 2746.807 | 1615.319 |
| 10 | Ржевка | 59.977233 | 30.507605 | 2746.394 | 1618.241 |
| 11 | Колтушское шоссе | 59.945819 | 30.525733 | 2748.486 | 1620.645 |
| 12 | Мурманское шоссе | 59.898169 | 30.691112 | 2747.74 | 1630.912 |
| 13 | Большой Обуховский мост | 59.854183 | 30.496331 | 2756.914 | 1623.708 |
| 14 | Софийская улица | 59.863821 | 30.416902 | 2758.363 | 1619.416 |
| 15 | Московское шоссе, Шушары. | 59.829889 | 30.346312 | 2763.171 | 1617.664 |
| 16 | Пулковское шоссе | 59.793396 | 30.324366 | 2766.818 | 1618.377 |
| 17 | Дачное | 59.846924 | 30.267620 | 2763.976 | 1613.042 |
| 18 | Без названия | 59.8164722 | 30.20996 | 2768.128 | 1611.733 |
| 19 | Таллинское шоссе | 59.810849 | 30.169892 | 2769.721 | 1610.068 |
| 20 | Волхонское шоссе (Володарское) | 59.839072 | 30.042960 | 2770.933 | 1602.57 |
| 21 | Красносельское шоссе | 59.781451 | 30.134992 | 2773.145 | 1609.799 |
| 22 | Ропшинское шоссе | 59.856989 | 29.952625 | 2771.964 | 1597.339 |
| 23 | Гостилицкое шоссе | 59.870429 | 29.828568 | 2774.294 | 1590.691 |
| 24 | Ораниенбаумский пр. | 59.891092 | 29.770402 | 2774.183 | 1586.887 |
| 25 | Бронка | 59.927942 | 29.656568 | 2774.249 | 1579.618 |
| 26 | Кронштадское шоссе | 60.017472 | 29.706083 | 2765.397 | 1577.744 |

Целевая функция инфраструктуры АГНКС определяется требованием «минимального плеча», означающего, что пробег $f_{i:j'}$ для каждого потребителя b_i к какой – либо АГНКС должен быть минимальным и будет представлен в виде:

$$f_{i:j'} = \min_{\substack{i \in 1, 2, \dots, 26 \\ j \in 1, 2, \dots, 54}} \sqrt{(x_i - ax_j)^2 + (y_i - ay_j)^2} \quad (3.16)$$

где x_i и y_i - декартовы координаты потребителей b_i ;

ax_j и ay_j – декартовы координаты j – й АГНКС.

В отличие от классической транспортной задачи, в рассматриваемой модели «С» ограничения на запасы КПП не ставятся. Таким образом, для каждого i -го потребителя находится ближайшая к нему j - я АГНКС, а объём a_j необходимого КПП определяется потребностями потребителей

$$a_j = \sum_{i'} n_{i'j} v_{0i'}, \quad (3.17)$$

где суммирование осуществляется по тем потребителям, для которых j - я АГНКС оказалась ближайшей, их номера i' .

В результате из возможных 26-ти точек расположения АГНКС, реально могут использоваться только 15, а остальные точки локализации не являются оптимальными с точки зрения минимального плеча и поэтому строительство АГНКС в оставшихся 11-и точках нецелесообразно. В выбранных местах расположения АГНКС их количество и тип определяется суммарным суточным потреблением КПП a_j и полным временем работы T_j ,

$$T_j = \sum_{i'} n_{i'j} t_{i'}, \quad (3.18)$$

где $t_{i'}$ - время заправки КПП одним ГБА i – го потребителя, час.

При этом, в соответствии с полученной моделью «С», каждый потребитель имеет возможность на ближайшей к нему АГНКС, полностью удовлетворить потребность в ГМТ всех своих ГБА (не дробя их на группы, как в модели «А»).

Необходимое количество АГНКС на каждом рассматриваемом съезде КАД определяется с учётом суточного потребления КПП всеми заявителями V_i , и

производительностью АГНКС.

Математическая модель инфраструктуры АГНКС по варианту «С»

$$\left. \begin{aligned}
 \sum_{j=1}^{26} v_{ij} &= b_i, \quad i = 1, 2, \dots, 54 \\
 f_{i'j'} &= \min_{\substack{i \in 1, 2, \dots, 26 \\ j \in 1, 2, \dots, 54}} \sqrt{(x_i - ax_j)^2 + (y_i - ay_j)^2} \\
 a_j &= \sum_{i'} n_{i'j} v_{0i'} \\
 T_j &= \sum_{i'} n_{i'j} t_{i'} \\
 V_j &= \sum_{i'} n_{i'} \cdot v_{0i'}
 \end{aligned} \right\} (3.19)$$

Алгоритм формирования инфраструктуры АГНКС СПб по варианту «С» представлен на рисунке 3.25



Рисунок 3.25 – Алгоритм формирования инфраструктуры АГНКС вариант «С»

Вычислительный эксперимент по варианту «С» выполнен на основе математического анализа с применением программы Excel. Был создан макрос (рисунок 3.26), где номера столбцов соответствуют съездам с КАД и указаны в таблице 3.1, а номера строк - номерам потребителей, 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».

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
|----|---|---|---------|---------|---|---|---|---------|---|----|----|----|----|---------|----|----|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | 8640.0 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | 9380.0 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | 24300.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | 14220.0 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | 11340.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | 31880.0 | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | 13880.0 | | | | | | 16740.0 | | | 9720.0 | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | 26640.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | 4880.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | 4300.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | | | | 3800.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | 4480.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27 | | | | 3380.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 38 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 42 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 44 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 48 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 51 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 53 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1279.4 |
| 54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Рисунок 3.26 - Матрица сети АГНКС СПб по «минимальному плечу заправки от потребителя до ближайшего съезда с КАД

Предполагается, что инфраструктуру АГНКС целесообразно создаваться с двух сторон КАД, т.е. в направлении «в город» и соответственно «из города», максимально обеспечив потребности КПП для ГБА, не создавая очередей на заправку.

При наложении матрицы сети станций заправки ГМТ на координаты КАД получена следующая инфраструктура АГНКС СПб:

Съезд №2 – Левашовское шоссе и Горское шоссе. Одну малую АГНКС (на 2

поста), её целесообразно использовать для потребителя № 49 с 72-я ГБА и расходом 2425 м³ КПП в сутки. Необходимое время заправки клиентов составит 6,9 ч.

Съезд № 3 – Парашютная улица. Две больших (10 постов) и одна малая АГНКС (4 поста) для потребителей: № 3 с 135-ю автобусами на КПП; № 24 с 76 ГБА; № 25 с 89-ю ГБА; № 26 с 67-ю ГБА; № 37 с 537 ГБА; №48 с 589 ГБА; № 50 с 240 ГБА; № 51 с 165-ю ГБА и суммарным потреблением КПП 87480 м³ в сутки. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 15,88 ч.

Съезд № 4 – Выборгское шоссе. Две больших АГНКС (на 10 постов), которые будут обслуживать потребителя №14 со 148-ю автобусами на КПП, которые потребляют 26640 м³ КПП в сутки; и транзитный поток, который составляет 299 ГБА с суммарным потреблением КПП 35092 м³ в сутки и средним временем заправки 0,255 ч на ТС. Необходимое время заправки клиентов составит 6,00 ч.

Съезд № 8 – Пискаревский проспект. Две средние (6 постов) и малая АГНКС (на 2 поста) для потребителей: № 9 с 77-ю автобусами на ГМТ; № 15 с 97-ю ГБА; № 16 с 86-ю ГБА; №38 с 512-ю ГБА; № с 336-ю ГБА. Их суммарное потребление КПП составляет 50654 м³ в сутки. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 15,88 ч.

Съезд № 9 – Шафировский проспект. Две средние АГНКС (на 6 постов), для потребителей: №5 с 63-я автобусами на КПП; № 10 с 84-я автобусами на КПП; № 46 с 272-я ГБА. Их суммарное потребление КПП составляет 42069 м³ в сутки. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 10,55 ч.

Съезд № 12 – Мурманское шоссе. Средняя и малая АГНКС (на 4 поста) обеспечивающие исключительно транзитный поток, который составляет 309 ГБА с суммарным потреблением КПП в размере 30312 м³ в сутки и средним временем заправки 0,239 ч на ТС. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 7.39 ч.

Съезд № 13 – Большой Обуховский мост. Две средние АГНКС (на 6 постов), предназначенные для обслуживания: № 8 с 96-ю автобусами на КПП; № 12 с 98-ю автобусами на КПП; № 43 с 198-ю ГБА. Их суммарное потребление КПП составляет 40471 м³ в сутки. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 7,90 ч.

Съезд № 14 – Софийская улица. Две больших (10 постов) и одна средняя АГНКС (на 6 постов), которые планируются для обслуживания: №1 с 48 автобусами на КПП; № с 52-я автобусами на КПП; №17 с 78-ю ГБА; №18 с 89-ю ГБА; №19 с 123-я ГБА; № 20 с 85-ю ГБА; №28 с 78-ю ГБА; №31 с 85-ю ГБА; №32 с 74-я ГБА; № 33 с 67-ю ГБА; №34 с 57 ГБА; № 35 с 67-ю ГБА; № 45 с 573 ГБА; № 53 с 467-ю ГБА. Их суммарное потребление КПП составляет 92632 м³ в сутки. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 15,19 ч.

Съезд № 15 – Московское шоссе, Шушары. Две больших (10 постов) и одна средняя АГНКС (на 6 постов) для обслуживания: №6 с 176-ю автобусами на КПП; №29 с 67-ю ГБА; №30 с 91-м ГБА; №42 с 272-я ГБА. Их суммарное потребление КПП составляет 56996 м³ в сутки. Дополнительно эти АГНКС обслуживают транзитный поток, который составляет 294 ГБА с суммарным потреблением КПП в размере 38234 м³ в сутки и средним временем заправки 0,263 ч на ТС. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 9,47 ч.

Съезд № 16 – Пулковское шоссе. Одна большая (10 постов) и одна средняя АГНКС (на 6 постов) предназначены для обслуживания: №7 с 54-я автобусами на КПП; №11 с 55 автобусами на КПП; №44 с 194-я ГБА. Их суммарное потребление КПП составляет 26171 м³ в сутки. Дополнительно эти АГНКС обслуживают транзитный поток, который составляет 319 ГБА с суммарным потреблением КПП в размере 27720 м³ в сутки и средним временем заправки 0,232 ч на ТС. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 7.20 ч.

Съезд № 17 – Дачное. Три средние АГНКС (на 6 постов), которые планируются для обслуживания: №4 с 79 автобусами на КПП; №21 с 96-ю ГБА; № 22 с 73-я ГБА; №23 с 68-ю ГБА; №27 с 93-я ГБА; №36 с 207-ю ГБА; № 39 с 194-я ГБА; №47 с 215 ГБА. Их суммарное потребление КПП составляет 63288 м³ в сутки. Необходимое время заправки клиентов в расчете на один раздаточный пост составит 7.20 ч.

Съезд № 19 – Таллиннское шоссе. Одна средняя АГНКС (на 6 постов), обслуживающая исключительно транзитный поток, который составляет 253 ГБА с суммарным потреблением КПП в размере 25296 м³ в сутки и средним временем заправки 0,241 ч на ТС. Необходимое время заправки клиентов составит 10,16 ч.

Съезд № 21 – Красносельское шоссе. Две малые АГНКС (по 2 поста), рассчитанные на одного потребителя – № 41 с 388-ю ГБА и расходом 10838 м³ КПП в сутки. Необходимое время заправки клиентов составит 18,17 ч.

Съезд № 23 – Гостилицкое шоссе. Одна средняя АГНКС (на 6 постов), предназначенная для обслуживания: №13 с 69 автобусами на КПП; № 40 с 137-ю ГБА и суммарным потреблением 20934 м³ КПП в сутки. Необходимое время заправки клиентов составит 8.29 ч.

Съезд № 26 – Кронштадское шоссе. Одна малая АГНКС (2 поста) для обслуживания одного потребителя – №52 с 45-ю ГБА и расходом 1280 м³ КПП в сутки. Необходимое время заправки клиентов составит 4,25 ч.

Расчёты показывают, что на севере Санкт – Петербурга наиболее загруженным с точки зрения потребления КПП, съезд с КАД № 3 – Парашютная улица, на юге – съезд с КАД № 14 – Софийская улица.

Графическая модель инфраструктуры АГНКС по варианту «С» приведена на рисунок 3.27. Ромбом обозначены съезды с КАД. Буквами Б, С, М обозначены Большая, Средняя и Малая АГНКС соответственно.



Рисунок 3.27 - Графическая модель инфраструктуры АГНКС по варианту «С»

◇ - 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.

3.3 Методика обоснования инфраструктуры АГНКС в городах

Для реализации поставленной в диссертационном исследовании цели, разработана методика обоснования инфраструктуры АГНКС в городах (рисунок 3.28).

Методика формирования инфраструктуры АГНКС – это совокупность научных приёмов и алгоритмов пошагового исследования, которые последовательно включают:

1. Анализ, выявление и обоснование факторов, влияющих на перевод работы АТ на ГМТ, их экспертную оценку и ранжирование по уровню приоритета и значимости в направлении исследования.
2. Анализ существующей инфраструктуры АГНКС СПб и обоснование необходимости её формирования.
3. Обоснование обобщённых критериев формирования инфраструктуры АГНКС.
4. Определение массива исходных данных и математического аппарата для решения поставленной задачи.
5. Разработка многовариантной математической модели инфраструктуры АГНКС.
6. Проведение вычислительного эксперимента с пошаговым формированием инфраструктуры АГНКС.
7. Разработка географических моделей инфраструктуры АГНКС СПб
8. Экономическое обоснование результатов исследования.

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

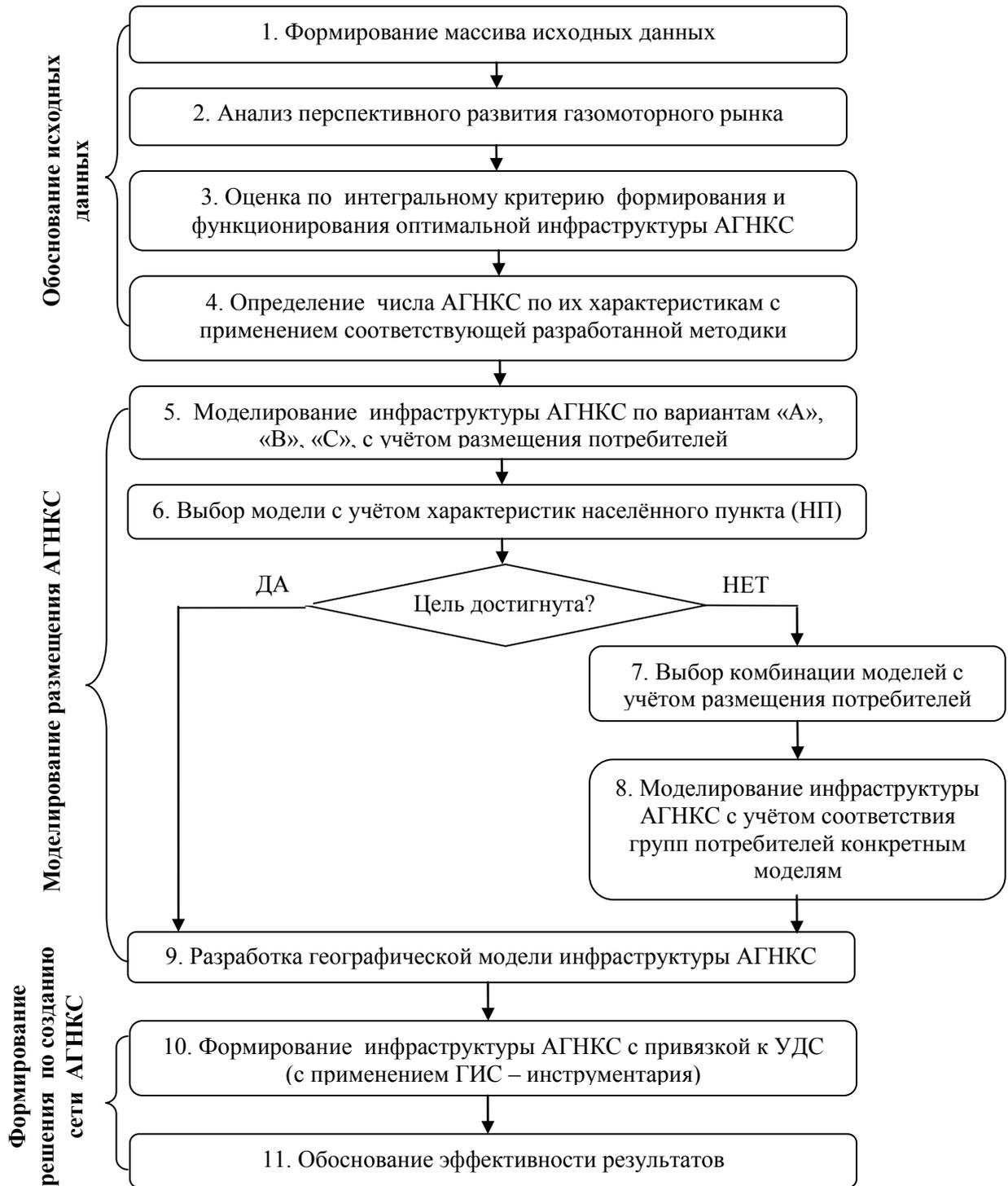


Рисунок 3.28 - Методика обоснования инфраструктуры АГНКС в городах

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.

Реализация данной методики позволит решить актуальную научно – практическую задачу по переводу работы АТС на ГМТ, а её концептуальный характер является универсальным и может быть распространён на другие регионы РФ.

Выводы по третьей главе

В третьей главе, в аспекте Стратегии экономического и социального развития Санкт – Петербурга было произведено математическое моделирование прогнозируемой инфраструктуры АГНКС Санкт – Петербурга. Решение поставленных в эксперименте задач осуществлялось за счёт создания соответствующих математических моделей. В ходе реализации экспериментального исследования были достигнуты следующие задачи:

1. Сеть АГНКС рационально размещена возле ключевых потребителей ГМТ (с учётом транзитного транспорта) исходя из критериев минимизации плеч заправки и полного удовлетворения спроса на КПГ;
2. Инфраструктура АГНКС размещена с учётом всех необходимых требований по обеспечению её безопасной эксплуатации.

Разработанная многофакторная математическая модель формирования инфраструктуры АГНКС СПб для заправки общественного пассажирского транспорта Санкт- Петербурга позволит обеспечить эффективную эксплуатацию ГБА и значительно снизит соответствующие временные, материальные и экологические издержки.

Разработанная методика формирования инфраструктуры АГНКС и

созданная сеть заправочных станций будет способствовать эффективной эксплуатации и функционированию АТ, минимизации плеч заправок, снижению непроизводительных пробегов, поэтапному переводу работы подвижного состава на ГМТ, а также развитию инфраструктуры перевозочного процесса и объектов дорожного сервиса в целом.

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, будет способствовать успешному решению Распоряжения Правительства РФ [100] и повысит эффективность экономических составляющих работы автомобильного транспорта.

Результаты исследования и предложенное научно – методическое обеспечение могут быть внедрены в региональные программы перевода транспорта на газомоторное топливо и строительства АГНКС.

ГЛАВА 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

4.1 Анализ производственной деятельности АГНКС

Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС) - АЗС, на территории которой предусмотрена заправка баллонов топливной системы грузовых, специальных, легковых автомобилей, а также ПАГЗ и кассетных сборок компримированным природным газом, используемым в качестве моторного топлива [91] (сжатым до 200 атм., передвижных газозаправщиков – газом, сжатым до 250 атм). Кассетная сборка – установка, предназначенная для хранения и транспортировки КПП с АГНКС, представляет собой установку, состоящую из сосудов (баллонов), жёстко закреплённых на раме, оборудованных запорной арматурой и трубопроводной обвязкой [91].

Природный газ, который добывается на месторождениях, проходит очистку, осушку, сжимается (компримируется) и дальше транспортируется через трубопроводы. Через распределительные сети сжатый природный газ попадает на АГНКС. Здесь он проходит повторную очистку, осушку, сжатие и передаётся в бак автомобиля в качестве топлива. Заправляемый газ – природный газ по ГОСТ 5542 – 87.

Современная концепция формирования газозаправочной сети предусматривает создание разветвлённой сети АГНКС, которые должны удовлетворять высоким требованиям, как по надёжности, так и по экономичности.

Строительство стационарных АГНКС возможно при условии минимизации капитальных вложений и в местах, обеспеченных природным газом и при большом транспортном потоке. В условиях небольшого транспортного потока ГБА их заправку можно обеспечить с помощью передвижных автогазозаправщиков (ПАГЗов).

Эксплуатация АГНКС должна отвечать требованиям закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [79].

Должна быть обеспечена пожарная безопасность и созданы безопасные и здоровые условия труда. Персонал АГНКС по охране труда и промышленной безопасности должен быть аттестован в соответствии с ГОСТ 12.0.004-90 («Положение о порядке подготовки и аттестации работников организаций, осуществляющих деятельность в области промышленной безопасности опасных производственных объектов»). При эксплуатации оборудования АГНКС необходимо руководствоваться нормативно – техническими документами в соответствии с Приложением Е и технической документацией (сроки действия) в соответствии с Приложением Ж.

Площадка зданий, сооружений и оборудования для приёма, подготовки и хранения КПП должны иметь самостоятельные ограждения, которые обозначают территорию, закрытую для посторонних лиц, и выполнены из негорючих материалов, не препятствующих свободному проветриванию. В местах въездов – выездов с территории указанных площадок должны быть предусмотрены ограничители проезда.

При размещении АГНКС должны быть выполнены следующие условия:

- АГНКС должны быть удалены не менее чем на 100 метров от любых жилых сооружений, в том числе сооружений с массовым накоплением людей.
- Необходимая площадь участка под АГНКС не менее 0,4 га.
- Наличие вблизи газопроводов с максимально возможным избыточным давлением, но не менее 0,1 МПа. Газопровод должен обеспечивать максимальный расход газа на АГНКС не менее $576 \text{ Н} \cdot \text{м}^3/\text{ч}$.
- Наличие трансформаторной подстанции или линии электропередач для обеспечения установленной мощности (рекомендованная мощность трансформаторной подстанции 400 кВт).
- Размещение максимально близко к автодорогам и местам концентрации транспортных средств на ГМТ.

Минимальные расстояния от АГНКС до объектов, к ним не относящихся, принимаются в соответствии с табл.4.1 [109]

Таблица 4.1 – Минимальные расстояния от АГНКС до объектов, к ним не относящимся

| № п/п | Наименование объектов | Расстояние от зданий, сооружений и оборудования АГНКС, м |
|-------|---|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Производственные, складские и административно-бытовые здания и сооружения промышленных предприятий | 25 |
| 2 | Лесные массивы: хвойные и смешанные лиственные | 30 15 |
| 3 | Жилые и общественные здания | 35 |
| 4 | Места массового пребывания людей | 35 |
| 5 | Гаражи и открытые стоянки автомобилей | 30 |
| 6 | Автомобильные дороги общей сети (край проезжей части) I (автомагистраль, скоростная, обычного типа 4 и более полос), II (обычного типа 4 полосы) III (обычного типа 2 полосы) категории. Дороги обычного типа (нескоростные) IV (2 полосы), V (1 полоса) категории | 15 12 |
| 7 | Железные дороги общей сети (до подошвы насыпи) | 30 |
| 8 | Очистные канализационные сооружения и насосные станции (не относящиеся к АГНКС) | 15 |
| 9 | Склады горючих материалов и веществ (лесные материалы, торф, сено и т.п.) и участки открытого залегания торфа | 30 |

Основные требования по техническому обслуживанию и ремонту оборудования АГНКС регламентируются Правилами технической эксплуатации Автомобильных газонаполнительных компрессорных станций [ВРД 39-2.5-082-2003].

Эксплуатация газопроводов, подводящих газ на АГНКС проводится в соответствии с требованиями СНиП «Технологическое оборудование и

технологические трубопроводы» [93]; Правилами технической эксплуатации магистральных газопроводов» ОАО «Газпром» [92] и «Правилами устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов» [93].

Работы по техническому обслуживанию газопроводов должны проводиться в сроки, предусмотренные графиками. При эксплуатации технологических газопроводов и арматуры должны выполняться следующие регламентные работы: наружный осмотр; ревизия (техническое обслуживание); периодические испытания.

Эксплуатация компрессорных установок должна отвечать требованиям «Правил устройства и безопасности эксплуатации компрессорных установок с поршневыми компрессорами, работающими на взрывоопасных и вредных газах», «Руководства по эксплуатации компрессорной установки» завода-изготовителя с учетом положений технико-эксплуатационной документации на технологическую систему АГНКС, технологического регламента.

Техническое обслуживание АГНКС, обучение персонала осуществляется производителями оборудования.

4.1.1 Типы, оборудование и системы АГНКС

Ведущая станция подключена к трубопроводу, что позволяет заполнять метаном мобильные блоки хранения (мобильные прицепы КПП). Установка раздаточной колонки осуществляет заправку ТС. Данная система позволяет доставить КПП даже в труднодоступные области, не охваченные трубопроводом. КПП поступает к конечному потребителю (станции техобслуживания, промышленные районы, больницы и т.п.) и для того, чтобы установить подходящее рабочее давление, декомпрессируется на месте (рисунок 4.1).

Дочерняя станция является подходящей заправкой КПП в случае отсутствия газопровода. Горючее доставляется сюда при помощи мобильных прицепов КПП, ранее заправленных на ведущей станции. Стандартное решение основано на гидравлических компрессорах, способных работать с широким диапазоном

входного давления.



Рисунок 4.1 - Схема ведущей станции

Система состоит из двух линий, идущих к раздаточному устройству: одна – из прицепа, другая из гидравлического компрессора с небольшой поглощающей ёмкостью (позволяет опорожнить прицеп до 25 бар). (Рисунок 4.2)

Быстрodeйствующая станция предназначена для дозаправки большого количества ТС. Здесь КПГ сначала сжимается и хранится в специальных резервуарах перед закачкой в автоцистерны, проходя через газовые раздаточные устройства.

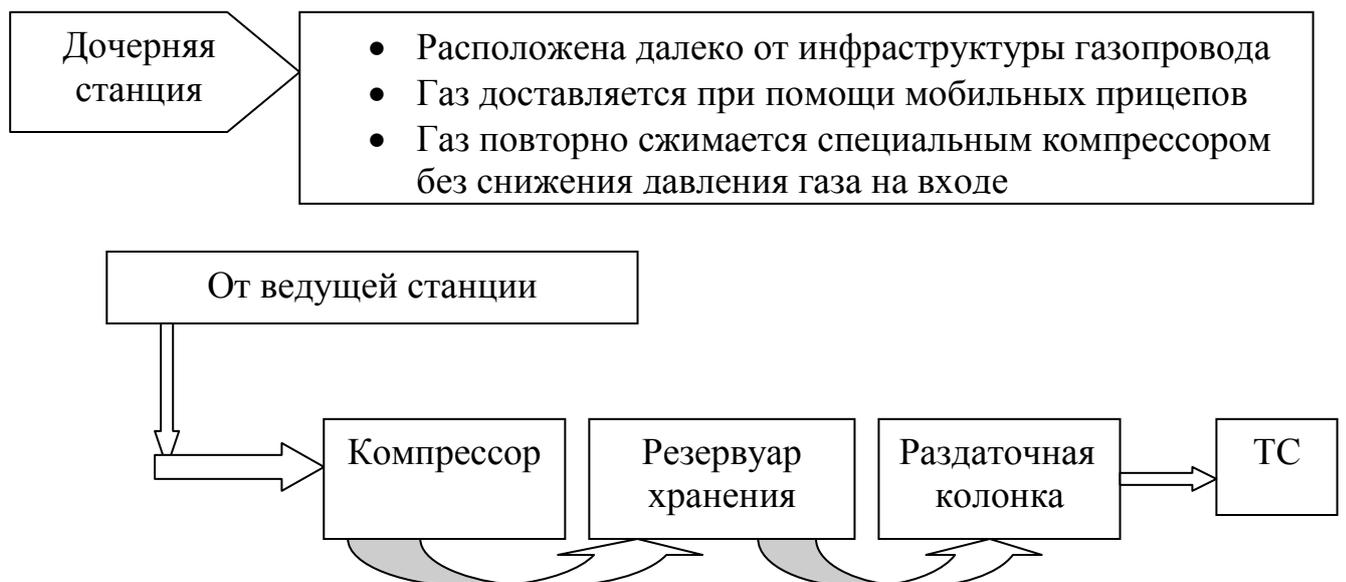


Рисунок 4.2 - Схема дочерней станции

Медленнодействующая станция при наличии возможности заполнения всех ТС в течение более длительного периода времени, а также, если запись количества газа, поставляемое в каждое ТС, не является необходимостью. Поскольку станция заправляет КПП больше чем в одно ТС, не требуются блоки хранения. К такой системе необходима большая по площади парковочная зона со множеством точек дозаправки.

Последовательная станция принцип такой же, как и в медленно- или быстродействующей станции, но здесь автоматическая система управления контролирует процесс заправки ТС в соответствии с порядком их прибытия на объект. Данная система используется в основном для заправки такси или автобусов, которые нужно обслужить в течение дня. Обычно некоторые «островки» оснащены 5 или 6 пунктами заправки, последовательно заправляющими ТС, в соответствии с порядком их прибытия, и бронирующими каждое из них при подключении. Данная система позволяет записывать количества газа, поставляемого в каждое ТС.

АГНКС состоит из трёх модулей: технологического (очистка, осушка, сжатие газа – подготовка к заправке), операторского (ЭВМ оператора контролирует все параметры и ход заправки) заправочного поста.

Комплект оборудования АГНКС состоит из следующих блоков:

1. Технологический блок, в котором размещены компрессоры для сжатия природного газа до давления 25 МПа, замерный узел и система подготовки газа (очистки и осушки).
2. Блок аккумуляторов газа.
3. Блок оператора – помещение для обслуживающего персонала, в котором находятся приборы контроля и управления технологическими процессами.
4. Блок входных кранов.
5. Газораздаточная колонка. В сутки одна колонка обеспечивает до 150 заправок. Представляет собой стальной корпус с одним или двумя заправочными шлангами, а также: массовый расходомер газа, систему механической или электронной остановки заправки по избытку расхода, входной фильтр газа, клапаны

регулировки давления для каждого заправочного шланга, электронный дисплей со световым сигналом окончания заправки, интерфейс для дистанционного контроля работы системы. Заправка возможна до полной ёмкости или на predetermined цену.

Технологический блок: компрессор с блоком охлаждения, работающий на входном давлении (2 – 12 бар), с приводом от электродвигателя; шкаф управления компрессором; общий силовой щит; воздушный компрессор с блоком осушки воздуха; блок подготовки газа, включающий системы осушки и очистки газа; замерный узел.

АГНКС работают в автоматическом и полуавтоматическом режимах.

Система компримирования газа состоит из всасывающей линии с регулятором давления на входе в компрессор и фильтра тонкой очистки газа, компрессора, ёмкости сглаживающей колебания давления после компрессора, и ёмкости для приёма избыточного давления при разгрузке системы, предохранительных клапанов, электромагнитных клапанов и подающего трубопровода по которому осуществляется транспортировка компримированного газа.

Система смазки принудительного типа предназначена для снижения трения в кривошипно –шатунном механизме компрессора и состоит из электрического масляного насоса, механического масляного насоса расположенного на коленчатом валу компрессорной установки, регулятора давления в системе смазки. Масляного радиатора с водяным охлаждением, токового датчика давления масла манометра и соединительных трубопроводов.

Система охлаждения предназначена для отвода излишков тепловой энергии от компрессора и готового продукта, включает в себя электрический насос, расширительный бак, рубашку охлаждения компрессора, радиатор охлаждения масла, радиатор охлаждения антифриза, расширительный бак, клапан для сброса воздуха из системы, вентилятор для охлаждения.

Система технического газа и сжатого газа предназначена для управления пневматическими задвижками системы осушки и регенерации системы осушки.

Получает питание от компрессора, активирует пневматические клапаны и толкатели пневматических задвижек управляющие направлением потока газа, а также попадая в систему регенерации служит для отбора влаги из регенерируемой колонны системы осушки, переноса её во влагоотделитель и затем в ёмкость для сбора конденсата.

Система управления Система автоматического управления (САУ) обеспечивает контроль параметров станции, её автоматическое включение и выключение. САУ предназначена для автоматического управления всей блочно – компрессорной установкой, включая смежные системы оповещения о пожаре, автоматического пожаротушения, контроля загазованности, а также для выдачи информации о состоянии систем блочно – компрессорной установки на верхние уровни управления. Она обеспечивает: приём и распределение электроэнергии между потребителями; управление электроприводами компрессора, вентиляторов; пуск и остановку станции в автоматическом и ручном режиме; контроль и индикацию технологических параметров АГНКС в целом; световую и звуковую сигнализацию неисправностей; блокировку станции при выходе контролируемых параметров за допустимые пределы.

Электроэнергетическая система питает электрические приспособления и управляет (ВКЛ-ВЫКЛ) системой частотного регулирования оборотов электродвигателя. Она также включает электрические рубильники отдельных установок.

Система безопасности предназначена для контроля параметров блочно – компрессорной установки и активации алгоритмов предотвращения аварии при выходе каких – либо параметров установки за допустимый предел. Активируется в случае чрезмерного давления или температуры в системах компрессии газа, смазки и охлаждения, а также при поступлении аварийных сигналов от смежных систем (системы автоматического оповещения о пожаре, системы контроля загазованности).

Система осушки газа предназначена для удаления влаги и газа, поступающего в блочно – компрессорную установку (БКУ) и регенерации адсорбентов. Система

осушки состоит из двух адсорберов работающих поочерёдно, при этом, когда один из них работает, второй находится в режиме регенерации или ждущем режиме после регенерации, трубопроводов подачи газа в БКУ и газа регенерации, фильтра грубой очистки, радиатора охлаждения газа регенерации, вентилятора радиатора охлаждения газа регенерации, влагоотделителя, влагомера, трубопроводов удаления конденсата и ёмкости для сбора конденсата.

В состав АГНКС входят следующие системы:

- Система компримирования газа
- Система смазки;
- Система охлаждения;
- Система технического газа для управления клапанами и задвижками;
- Система управления;
- Электроэнергетическая система;
- Система безопасности;
- Система осушки газа.

Принцип работы АГНКС

Природный газ от газопровода, через блок входных в АГНКС кранов, поступает в замерный узел, затем в блок подготовки газа, проходит подготовку до необходимого качества (очистка и осушка по ГОСТ 27577 – 2000) и после этого поступает в компрессор, сжимается до давления 25,0 МПа и направляется в систему аккумуляторов газа и далее через газораздаточную колонку в автомобиль. Колонка укомплектована системой учёта газа и информационным табло и обеспечивает заправку автомобилей до давления 20,0 МПа.

Управление технологическим процессом АГНКС

Управление технологическим процессом АГНКС осуществляется системой автоматического управления (САУ) с пульта оператора из блока оператора. САУ формирует журнал, в котором фиксируются параметры технологического процесса, и ведётся учёт заправок, с выдачей сменных счетов. АГНКС оборудована системами безопасности, включающими в себя: систему контроля загазованности, охранно-пожарную сигнализацию, аварийно – вытяжную вентиляцию и систему автоматического пожаротушения.

4.1.2 Требования по безопасной заправке КПП

Порядок заправки КПП автотранспорта, кассетных сборок, ПАГЗ и других наземных транспортных средств устанавливается на основании требований технико – эксплуатационной документации на технологическую систему, проекта АГНКС и посредством газозаправочных устройств (колонки, узлы) предусмотренных в документации. На каждой заправочной колонке должна иметься инструкция по действию водителей. У водителей должно быть удостоверение на право вождения автомобиля, работающего на КПП, путевого листа с отметкой об исправности материальной части автотранспорта и действующего талона государственного технического осмотра. При отсутствии или ненадлежащем оформлении документов у водителя заправка АТС запрещается.

На территории АГНКС водитель АТС обязан выполнять распоряжение оператора, касающиеся его маршрута движения (со скоростью не более 5 км/ч) и проведения технологических операций, с соблюдением знаков дорожного движения.

Заправка АТС может производиться дистанционно или автоматически с пульта управления (операторной), или вручную через запорные устройства в порядке регламентированном технико – эксплуатационной документацией.

После остановки АТС водитель обязан выключить двигатель, включить стояночный тормоз, извлечь ключ из замка зажигания и покинуть кабину. Он предоставляет оператору все необходимые документы и получив разрешение производит все необходимые операции по заправке в соответствии с инструкцией. Наполнитель (оператор) производит подачу газа на ГЗК, ведёт контроль за процессом заправки и расчётом количества отпускаемого газа и оформляет необходимую документацию (или выдаёт кассовый чек при заправке за наличный расчёт).

Заправка ПАГЗ и кассетных сборок производится на АГНКС только при

наличии документации на данный вид работ и не должна превышать допустимого давления, установленного для ГЗК, на которой производится заправка.

На территории АГНКС запрещается стоянка (за исключением процесса заправки и его ожидания) и транзитный проезд постороннего транспорта. Высадка и посадка пассажиров (кроме уполномоченных и водителей) должна осуществляться на специально предусмотренных площадках. Нахождение людей в зоне «заправочных островков» и возможного травмирования при обрыве (срыве) заправочного шланга запрещается.

Запрещается оставлять заправляемое ТС без постоянного визуального контроля со стороны водителя.

Запрещается заправка АТС при неисправностях на АГНКС, способных привести к аварии, при аварийных ситуациях на АГНКС и/ или транспортных средствах, а также во время грозы. В случае возникновения нештатной ситуации оператор действует в соответствии с планом ликвидации аварии.

Техническое обслуживание газозаправочных колонок и другого оборудования АГНКС должно производиться по графикам, утверждённым и соответствующим требованиям документации.

АГНКС должны быть обеспечены противопожарным оборудованием и первичными средствами пожаротушения в соответствии с нормативными документами «Автозаправочные станции. Требования пожарной безопасности» и «Нормами положенности первичных средств пожаротушения на объектах газовой промышленности», установленными «Правилами пожарной безопасности для предприятий и организаций газовой промышленности ВППБ 01-04-98», отвечающим требованиям «Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-93) [83].

Для выполнения газоопасных работ на АГНКС используются шланговые противогазы или изолирующие средства индивидуальной защиты органов дыхания. Резерв шланговых противогазов на АГНКС должен составлять 10 % (но не менее одного) от количества людей, пользующихся ими.

При эксплуатации АГНКС необходимо неукоснительно выполнять

комплекс всех необходимых природоохранных мероприятий, с учётом возможных последствий воздействия на окружающую природную среду. При строгом соблюдении технологического процесса получения КПП и заправки им ТС на АГНКС отсутствуют факторы негативного воздействия на человека и окружающую природную среду, вызывающие ПДК по содержанию углеводородов в рабочей зоне – 300 мг/куб.м, а в охранной зоне АГНКС – 50 мг/куб.м.

4.2 Оценка экономической эффективности функционирования инфраструктуры АГНКС (на примере Санкт – Петербурга)

Эффективность инвестиционного проекта характеризуется системой показателей, отражающих соотношение затрат и результатов применительно к интересам его участников. Экономическая эффективность это относительная величина, получаемая в результате сопоставления экономического эффекта с затратами, вызвавшими данный эффект.

Анализ эффективности инвестиционного проекта основывается на моделировании денежных потоков, вложенных в проект в течение всего срока его реализации. Денежный поток складывается из всех притоков и оттоков денежных средств в некоторый момент времени (или на некотором этапе расчёта). Приток денежных средств равен величине денежных поступлений (результатов в стоимостном выражении) на соответствующем этапе. Отток денежных средств равен затратам (платежам) на этом этапе.

Расчётный период (срок проекта) должен охватывать все этапы разработки и реализации проекта и до его прекращения: инвестиционный, эксплуатационный и ликвидационный.

4.2.1 Формирование экономического эффекта прогнозируемой инфраструктуры АГНКС

Экономичность является важнейшим критерием перспективности темы.

Использование природного газа в качестве топлива на транспорте становится мировой тенденцией. Это обусловлено его высокими экологическими показателями и обеспечением повышения экономической эффективности транспорта за счёт снижения эксплуатационных затрат его работы, что, в свою очередь, повышает энергоэффективность экономики и обеспечивает энергетическую безопасность государства, в том числе в период экономического кризиса. Очевидно, что переход работы АТ на природный газ невозможен без широкого развития инфраструктуры АГНКС с учётом требований к ней, отражённых в данном исследовании. В последствие, внедрение разработанных предложений будет способствовать получению экономического и социального эффектов на всех уровнях экономики: например, на мегауровне – снижение парникового эффекта и вероятности техногенного риска, на макроуровне – повышение эффективности экономики страны, на микроуровне – повышение экономической эффективности и снижение эксплуатационных затрат АТП. В диссертации данные и другие эффекты высокого порядка не оценивались, а была произведена оценка эффективности на микроуровне.

Переход работы автомобильного транспорта на ГМТ невозможен без соответствующего развития транспортной инфраструктуры на региональных уровнях, что требует определённых капитальных вложений. Как инструмент достижения цели обеспечения гармоничного развития транспортной системы Санкт – Петербурга [Стратегия 2030] разработана государственная программа «Развитие транспортной системы Санкт – Петербурга на 2015 – 2020 годы» (далее Программа). В общем объёме финансирования Программы 797 085 117,4 тыс.руб. на развитие транспортной инфраструктуры планируется выделить 299 268 883, 3 тыс.руб. (более 37,5 %) на связанные со строительством АГНКС инвестиции, экономическая эффективность которых должна быть подтверждена соответствующими расчётами.

В диссертационном исследовании отмечалось, что первоначально основные мощности АГНКС предусматривают направить для обслуживания городского пассажирского транспорта, что подтверждает пилотный проект станции для

обслуживания подвижного состава ПАТ № 7 СПб ГУП «Пассажиравтотранс», поэтому последствия развития и оптимизации инфраструктуры АГНКС рассматривались на -мезо (городском) и -микро (АГНКС) уровнях.

Социальные эффекты трудно поддаются экономической оценке. Поэтому методы экономической оценки влияния проекта на образование, здравоохранение, торговлю, коммунально – бытовое обслуживание населения требуют проведения трудоёмких экономических изысканий, в то время как сумма указанных эффектов обычно составляет незначительную долю в общей сумме эффектов [117].

При построении схемы определённые направления получения экономического эффекта не учитывались, в частности, эффект, получаемый в результате учёта при выборе места строительства АГНКС радиуса полезного действия за счёт снижения непроизводительного пробега подвижного состава до заправочной станции и от неё до выхода на маршрут.

На рисунке 4.3 представлена укрупнённая схема формирования социально-экономического эффекта перехода работы на ГМТ на городском уровне.

Как видно на рисунке 4.3, социально – экономический эффект развития инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций будет формироваться по нескольким направлениям.

1. Для города и населения (без учёта бюджетных дотационных расходов)

Основным результатом использования ГМТ в этом направлении является снижение негативного воздействия транспорта на окружающую среду за счёт значительного уменьшения вредных выбросов. Согласно принятым в мире методикам расчёта выбросов загрязняющих веществ АТС на ГМТ, по сравнению с выбросами бензина в качестве моторного топлива по СО снижаются в 3-4 раза; токсичным веществам в 20 раз; тетраэтилсвинца – исключаются полностью.

Очевидно, что улучшение экологической ситуации в городе окажет комплексное влияние на экономику и население: снизится заболеваемость населения, уменьшатся темпы износа дорожного покрытия, зданий и сооружений, в том числе объектов транспортной инфраструктуры, а также упадёт нагрузка на зелёные насаждения города, примыкающие к транспортной сети и т.п.



Рисунок 4.3 - Схема формирования социально – экономического эффекта развития инфраструктуры АГНКС

Перечисленные последствия приведут к значительной экономии средств жилищно – коммунальной сферы, связанных с эксплуатацией соответствующих объектов, затрат населения на медицину, а также средств соответствующих статей бюджета, описанных ниже. Количественно это направление получения экономического эффекта не оценивалось.

2. Для перевозчика

Использование ГМТ по оценке специалистов улучшает эксплуатационные показатели АТС, в частности, до 1,5 раз увеличивает ресурс двигателей, что снижает затраты на ТО и Р автомобилей, почти вдвое может снизиться расход моторного масла. Кроме этого, стоимость газа меньше, чем дизельного и бензинового топлива.

Все перечисленные затраты являются составляющими переменной части себестоимости перевозок, снижение которой позволит снизить затраты на перевозки в целом, а значит повысить прибыль (или уменьшить убытки), конкурентоспособность и возможности перевозчика. Косвенным эффектом можно считать уменьшение постоянной составляющей перевозки в виде амортизации сокращаемых основных производственных фондов предприятия (пропускной способности ремонтной зоны), что также отразится на его финансовых результатах. Количественно это направление получения экономического эффекта также не оценивалось, однако можно ориентироваться на уже полученные результаты расчётов экономической эффективности применения газомоторного топлива в Приморском крае: от 40 до 60% на каждую единицу техники с учётом снижения эксплуатационных и ремонтных расходов [95].

Перевод транспорта на ГМТ наряду с экономией издержек потребует дополнительных единовременных затрат (инвестиций), связанных с переоборудованием существующего подвижного состава и (или) его заменой на соответствующие модели.

3. Для бюджета и бизнеса.

Последствия перехода транспорта на газ, описанные в п.1, позволят существенно сократить статьи бюджета города, связанные с содержанием и

эксплуатацией городской собственности: объектов транспортной инфраструктуры, недвижимости, зелёных насаждений, а также бизнеса, в собственности которого имеются подобные объекты. Следует отметить, что подобный эффект будет получен и на уровне федерального бюджета за счёт снижения эксплуатационных затрат в отношении федеральной собственности, находящейся в Санкт – Петербурге. Такой же эффект будет получен и в сфере бизнеса, в собственности которого находятся соответствующие здания и сооружения, объекты инфраструктуры.

Снижение затрат перевозчиков, обслуживающих социальные городские маршруты обеспечит снижение дотационных выплат, осуществляемых за счёт местного бюджета. Развитие инфраструктуры АГНКС потребует определённых инвестиций, как предусматривается на сегодняшний день, что отражено в схеме. Строительство новых и модернизация существующих станций обеспечит создание новых рабочих мест.

4.В качестве экономического эффекта и эффективности перехода транспорта на ГМТ на микроуровне в настоящей диссертационной работе рассматривалась АГНКС среднего типа. Расчёты проводились с учётом представленных ниже ограничений и допущений, в частности, принятия условия, что станция с первого года эксплуатации работает при полной загрузке. Результаты расчётов, в том числе финансовые показатели функционирования АГНКС, представлены в пункте 4.2.2. Все расчёты производились укрупнено на примере условной станции. Далее в пункте 4.2.3., также на примере условной станции, сделана оценка экономической эффективности инвестиций в её строительство.

Оценка экономического эффекта и эффективности разработанных предложений проводилась в соответствии с Методологическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов [65]

При расчётах результатов деятельности станции и экономической эффективности инвестиций, вложенных в её создание, приняты следующие допущения, определения и ограничения:

- форма собственности – частная;
- экономическая и политическая обстановка и их возможное влияние на ход строительства и функционирование АГНКС не учитывались;
- научно – технические, экологические, правовые факторы, влияющие на деятельность предприятия, учтены полностью;
- влияние инфляции на результаты деятельности предприятия не рассчитывались, условно принято, что они будут покрываться за счёт предприятия при наличии финансовых возможностей по результатам деятельности, либо соответствующим увеличением тарифа на услуги;
- участок для размещения станции соответствует всем нормативным требованиям, удалён от объектов массового скопления людей, жилых кварталов с открытым источником огня, свободен от построек, не имеет обременений, т.е. предварительных работ, связанных с выполнением требований удорожающим стоимость объекта, не требуется; участок для размещения станции предоставлен на условиях аренды;
- условно в стоимость аренды земли включена стоимость аренды здания;
- подъездные пути, площадка накопления автотранспорта, полоса разгона/ускорения, ЛЭП и другое внешнее оборудование входят в общую стоимость станции;
- источником газоснабжения является существующий газопровод;
- выбор поставщиков всех ресурсов и услуг осуществлён с учётом всех требований бизнеса;
- пропускная способность станции соответствует потребностям рынка, т.е. запланированные мощности будут использоваться полностью с первого дня эксплуатации;
- режим работы станции круглосуточный, без выходных, в две смены;
- сотрудникам станции установлена повременная заработная плата, а также надбавки к заработной плате за выполнение дополнительных функций, премиальные выплаты по итогам работы станции и надбавки к зарплате,

предусмотренные законодательством;

- деятельность станции не включена в виды предпринимательской деятельности, в отношении которых на территории Санкт – Петербурга вводится единый налог;
- стоимость инвентаря в составе основных производственных фондов составляет 2% стоимости оборудования станции;
- стоимость приборов в составе основных производственных фондов и их транспортировка составляют 10% стоимости оборудования станции;
- норма амортизации принята как средневзвешенная для различных по стоимости и амортизационному периоду объектов основных производственных фондов;
- затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования и приборов станции составляет 7% от стоимости основных производственных фондов;
- затраты на содержание производственных площадей составляют 3% от стоимости основных производственных фондов;
- прочие переменные расходы, в том числе затраты на юридическое обеспечение и другие приобретаемые услуги, составляют 15% от затрат на электроэнергию;
- затраты на текущий ремонт зданий составляют 2% от стоимости основных производственных фондов;
- удельные затраты на охрану труда составляют 5000 руб. на одного работающего в год;
- общецеховые расходы станции составляют 3% от стоимости основных производственных фондов;
- прочие затраты, входящие в общецеховые, приняты в размере 10% от суммы затрат по другим статьям общецеховых расходов;
- общехозяйственные расходы включают налоги и рассчитывались исходя из нормы этих затрат (принято 1,5 руб. на 1 руб. фонда заработной платы руководящих работников без отчислений);

- при определении балансовой прибыли разница между выручкой и общими затратами не уменьшалась на величину внереализационных расходов (налогов и отчислений, на сумму которых уменьшается прибыль, в том числе налог на имущество);
- рентабельность продажи сопутствующих товаров и деятельность кафе при станции не учитывались;
- непредвиденные расходы, вызванные техническими рисками, связанными со строительством и эксплуатацией станции (например, задержка в подготовке стройплощадки и выполнении графика строительства, задержка поставки оборудования и возведения предприятия, отсутствие сырья, непредвиденные остановки производства во время ввода в эксплуатацию и приёмки комиссией, новые внешние условия, влияющие на технологию производства) не учитывались;
- затраты на рекламу включены в прочие расходы;
- конкуренция на рынке АГНКС не учитывалась (при наличии в городе 2-х станций), т.е условно принято, что она отсутствует.

Отметим, что при описании формул для расчёта результатов деятельности станции в п. 4.2.2 сделаны дополнительные уточнения значений норм и прочих допущений.

4.2.2 Экономические результаты функционирования АГНКС

Как отмечалось, АГНКС является условной, данные для расчётов (таблица 4.2) приняты на основе уже имеющихся проектных решений, статистической информации, опыта функционирования подобных объектов в России, нормативов потребления ресурсов [72].

Таблица 4.2 - Исходные данные для расчёта

| № п/п | Показатель, ед.изм. | Значение, руб. |
|-------|--|----------------|
| 1 | Оптовая цена на газ, добываемый ОАО «Газпром» и его аффилированными лицами, для Субъекта РФ – г. Санкт – Петербург (руб./1000 м ³) | 4 215 |
| 2 | Стоимость 1 м ³ природного газа на входе в АГНКС | 4,215 |
| | Суточная производительность станции, м ³ | 36000 |
| 3 | Количество заправок, ед./день | 600 |
| 4 | Объем одной заправки, нм ³ | 60 |
| 5 | Площадь участка, м ² | 4000 |
| 6 | Стоимость аренды, руб/м ² в месяц | 300 |
| 7 | Удельный расход эл/энергии, кВт – час/м ³ [67] | 0,35 |
| 8 | Стоимость 1 кВт потребляемой электроэнергии (без НДС), руб. | 3,40 |
| 9 | Стоимость оборудования станции, руб. | 80 000 000 |
| 10 | Средневзвешенная норма амортизации основных производственных фондов АГНКС,% | 14 |
| 11 | Отпускная цена газа на АГНКС, руб. | 15 |
| 12 | Количество обслуживающего персонала вместе с руководством, чел | 16 |
| 13 | Средняя заработная плата на 1 работающего, руб/мес. | 25 000 |
| 14 | Средний коэффициент дополнительной заработнойной платы сотрудников станции | 1,1 |
| 15 | Средний коэффициент премий сотрудникам станции | 0,6 |
| 16 | Средний коэффициент доплат сотрудникам станции к заработной плате | 1,25 |

В данном разделе приведены формулы и результаты расчётов основных результирующих показателей деятельности станции, таких как общие затраты, выручка, прибыль и рентабельность, а также показателей эффективности использования ресурсов предприятия. Также проведён анализ «затраты – объём – прибыль», результатом которого явилось определение точки безубыточности работы АГНКС. При этом важным показателем эффективной работы АГНКС является расчёт отношения стоимости её оборудования к производительности.

4.2.3 Расчёты эксплуатационных затрат

Все затраты, связанные с эксплуатацией станции делят на условно переменные (сдельная заработная плата, закупочная стоимость газа, затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования, коммунальные расходы и т.п.) и условно постоянные (амортизация основных производственных фондов, фонд зарплаты, аренда, юридическое обеспечение и т.п.). Кроме этого выделяют общецеховые расходы, включающие затраты на содержание производственных площадей, затраты на охрану труда и т.п. и общехозяйственные расходы. Расчёты статей затрат производятся по следующим формулам:

I. Затраты постоянные $C_{\text{пост}}$

1. Амортизация основных производственных фондов

а) Стоимость основных производственных фондов ($C_{\text{оф}}$) заправочных станций складывается из нескольких элементов:

$$C_{\text{оф}} = C_{\text{зд}} + C_{\text{об}} + C_{\text{инв}} + C_{\text{пр}}, \quad (4.1)$$

где $C_{\text{зд}}$ - стоимость здания, руб.;

$C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования, руб.;

$C_{\text{инв}}$ - стоимость инвентаря, руб.;

$C_{\text{пр}}$ - стоимость приборов, руб.

В нашем случае земля и здание находятся в аренде, поэтому не подлежат амортизации, т.к. в этом случае амортизацию начисляет арендодатель и включает её в состав арендной платы. Таким образом, арендные платежи входят в постоянную составляющую эксплуатационных затрат полностью, а амортизация начисляется только на стоимость оборудования и другие составляющие основных производственных фондов.

Стоимость приборов $C_{\text{пр}}$, руб., составит:

$$C_{\text{пр}} = 0,1 * C_{\text{об}}, \quad (4.2)$$

Стоимость инвентаря $C_{\text{инв}}$, руб., составит:

$$C_{\text{инв}} = 0,02 * C_{\text{об}}, \quad (4.3)$$

Стоимость основных производственных фондов $C_{\text{ОПФ}}$, руб., составит:

$$C_{\text{ОПФ}} = C_{\text{об}} + C_{\text{инв}} + C_{\text{пр}}, \quad (4.4)$$

Результаты расчётов стоимости основных производственных фондов приведены в таблице 4.3

Таблица 4.3 - Расчёт основных производственных фондов АГНКС

| № п/п | Элементы основных производственных фондов станции | Стоимость, руб |
|-------|--|----------------|
| 1 | Стоимость оборудования | 80 000 000 |
| 2 | Стоимость инвентаря | 1 600 000 |
| 3 | Стоимость приборов | 8 000 000 |
| 4 | Стоимость основных производственных фондов станции | 89 600 000 |

б) Расчёт амортизационных отчислений

$$A = C_{\text{ОПФ}} * N_a, \quad (4.5)$$

где N_a – норма амортизации (14 %).

2. Расчёт арендной платы

Арендная плата (C_a) без учёта инфляции в первый год эксплуатации составит:

$$C_a = F * a * 12, \quad (4.6)$$

где F – площадь объектов, м^2 - 4000;

a - стоимость 1 м^2 в месяц, руб - 300.

3. Расчёт фонда заработной платы с отчислениями. Поскольку всем сотрудникам станции начисляется повременная заработная плата, в постоянные затраты входит весь фонд вместе с обязательными отчислениями в соответствующие фонды. На сегодняшний день обязательные отчисления производятся в процентах от фонда заработной платы предприятия: в Пенсионный фонд – 22%, в Фонд социального страхования – 2,9 %, в Фонд обязательного медицинского страхования – 5,1 %. С учётом предусмотренных дополнительных выплат к заработной плате годовой фонд заработной платы станции с отчислениями ($\text{ФЗП}_{\text{общ с отч}}$) рассчитывается следующим образом:

$$\PhiЗП_{\text{общ с отч}} = (\PhiЗП_{\text{осн}} + \PhiЗП_{\text{доп}}) * (1 + 0,3) = \PhiЗП_{\text{осн}} * (1 + 0,1 + 0,6 + 0,25) * 1,3, \quad (4.7)$$

где $\PhiЗП_{\text{осн}}$ и $\PhiЗП_{\text{доп}}$ - годовые фонды основной и дополнительной заработной платы соответственно, руб.

$$\PhiЗП_{\text{осн}} = З_{\text{пл ср}} * Ч_{\text{п}} * 12, \quad (4.8)$$

где $З_{\text{пл ср}}$ - среднемесячная заработная плата на одного работающего, руб. (25000);

$Ч_{\text{п}}$ - численность персонала, чел (16).

II. Затраты переменные $C_{\text{пер}}$

1. Затраты на покупку газа:

$$C_{\text{газ}} = Ц_{1000} / 1000 * Q_{\text{год}}, \quad (4.9)$$

где $Ц_{1000}$ - цена 1000 м³ газа, руб. (4215);

$Q_{\text{год}}$ - объём заправок в год, м³.

$$Q_{\text{год}} = n * q * D_p, \quad (4.10)$$

где n – количество заправок в день, ед (600);

q – объём одной заправки, м³ (60);

D_p - количество рабочих дней в году (365), дн.

2. Затраты на электроэнергию $C_{\text{э/э}}$

Затраты на электроэнергию рассчитываются на основе удельного её расхода на заправку 1 м³ газа $P_{\text{уд}}$ и действующих тарифов на электроэнергию $Ц_{\text{э}}$

$$C_{\text{э/э}} = P_{\text{уд}} * Ц_{\text{э}} * n * q * D_p, \quad (4.11)$$

3. Расходы на техническое обслуживание и ремонт оборудования $C_{\text{то и р}}$, руб. :

$$C_{\text{то и р}} = 0,07 * C_{\text{об}}, \quad (4.12)$$

4. Прочие переменные расходы $C_{\text{пр перем}}$:

$$C_{\text{пр перем}} = 0,15 * C_{\text{э/э}}, \quad (4.13)$$

III. Общецеховые расходы $C_{\text{общ}}$

1. Затраты на содержание производственных площадей $C_{\text{пл}}$:

$$C_{\text{пл}} = 0,03 * C_{\text{об}}, \quad (4.14)$$

2. Затраты на текущий ремонт зданий $C_{рем.зд.}$:

$$C_{рем.зд.} = 0,02 * C_{об} , \quad (4.15)$$

3. Затраты на охрану труда $C_{ох.тр.}$:

Затраты на охрану труда рассчитываются в зависимости от размера удельных расходов на оплату труда, приходящегося на одного работающего $C_{уд.охр.тр.}$ и численности персонала $Ч_{п}$:

$$C_{ох.тр.} = C_{уд.охр.тр.} * Ч_{п} , \quad (4.16)$$

4. Прочие расходы $C_{пр.}$:

$$C_{пр.} = 0,1 * (C_{пл.} + C_{охр.тр.} + C_{рем.зд.}) , \quad (4.17)$$

5. Итого общецеховые расходы

$$C_{общ.} = C_{пл.} + C_{охр.тр.} + C_{рем.зд.} + C_{пр.} , \quad (4.18)$$

IV. Общехозяйственные расходы $C_{об.хоз.}$:

$$C_{об.хоз.} = 1,5 * ФЗП_{осн} * (1+0,1+0,6+0,25)/16*3 \quad (4.19)$$

Результаты расчётов эксплуатационных расходов и калькуляция себестоимости заправки 1 м³ газа представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Эксплуатационные затраты АГНКС

| № п/п | Статьи расходов | Условное обозначение | Сумма расходов, руб. | Сумма расходов на 1 м ³ газа руб. |
|-------|---------------------------|----------------------|----------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| A | Переменные расходы, всего | $C_{пер}$ | 78967941 | 5,82 |
| 1 | Затраты на покупку газа | $C_{газ}$ | 55385851 | 4,13 |
| 2 | Затраты на э/э | $C_{э/э}$ | 15636600 | 1,19 |
| 3 | Расходы на ТО и Р | $C_{ТО и Р}$ | 5 600 000 | 0,33 |
| 4 | Прочие переменные затраты | $C_{пр.перем}$ | 2345490 | 0,18 |
| B | Постоянные расходы, всего | $C_{пост}$ | 39112000 | 3,25 |
| 5 | Амортизация | A | 12 544 000 | 0,73 |

| | | | | |
|--------------------------------|--|-------------------------------|-------------|------|
| 6 | Арендная плата | C_a | 14400000 | 1,10 |
| 7 | Фонд заработной платы с отчислениями | $\Phi ЗП_{\text{общ. с отч}}$ | 12168000 | 0,93 |
| С | Общехозяйственные расходы, всего | $C_{\text{об.ц}}$ | 4 488 000 | 0,30 |
| <i>Продолжение таблицы 4.4</i> | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 8 | Затраты на содержание произв. площадей | $C_{\text{пл}}$ | 2 400 000 | 0,16 |
| 9 | Затраты на текущий ремонт зданий | $C_{\text{рем.зд}}$ | 1 600 000 | 0,10 |
| 10 | Затраты на охрану труда | $C_{\text{ТБ}}$ | 80000 | 0,01 |
| 11 | Прочие общехозяйственные расходы | $C_{\text{проч}}$ | 408 000 | 0,03 |
| Д | Общехозяйственные расходы, всего | $C_{\text{об.хоз}}$ | 292 500 | 0,20 |
| | ИТОГО | $C_{\text{общ}}$ | 122 868 441 | 9,07 |

В нашем случае годовой объём $Q_{\text{год}}$ производства станции равен объёму заправок газа в год, м^3 .

$$Q_{\text{год}} = 600 * 60 * 365 = 13140000 \text{ м}^3$$

4.2.4 Расчёт потребности в заёмных средствах и расходах на их погашение

Размер заёмных средств определяется суммой затрат, которые будут длиться до получения первой прибыли от деятельности АГНКС. Как правило, сюда включают расходы на строительство, регистрацию, приобретение оборудования, техническую деятельность, рекламу. С учётом допущений описанных в пункте 4.1 потребность в кредите будет складываться из стоимости основных производственных фондов и стоимости аренды земли и сооружений в год, при этом не учитывается стоимость газа, поскольку расчёты за него будут осуществляться по факту потребления в конце отчётных периодов.

Таким образом, потребность в кредите I составит:

$$I = C_{\text{ОПФ}} + C_a, \quad (4.20)$$

$$I = 89\,600 + 14\,400 = 104\,000\,000$$

При сроке кредитования пять лет, кредитной ставке 11% годовых и расчётах на основе простого процента, погашение займа в год будет осуществляться в следующих размерах:

- Проценты по кредиту $C_{\%} = 0,11 * I = 11\,440\,000$
- Погашение основной суммы $C_{\text{кр}} = I/5 = 104\,000\,000/5 = 20\,800\,000$

4.2.5 Расчёт финансовых результатов и показателей эффективности деятельности АГНКС

1. Выручка (доход) от реализации услуг станции V_p

$$V_p = Q_{\text{год}} * T, \quad (4.21)$$

где T – тариф (цена) за заправку 1 м³ газа, руб.

Тариф, в размере 15 рублей, необходимый для определения выручки установлен на основе имеющейся информации о рынке соответствующих услуг, который определяет верхнюю границу тарифа, а также с учётом требования покрытия общих затрат на производство и реализацию услуг и обеспечения предприятию определённого уровня рентабельности данного вида деятельности.

2. Прибыль от реализации услуг АГНКС:

а) Балансовая прибыль $P_б$:

$$P_б = V_p - C_{\text{общ}} = V_p - (C_{\text{пер}} + C_{\text{пост}}) \quad (4.22)$$

б) Чистая прибыль (разница между балансовой прибылью, налогом на прибыль, процентами и суммой погашения основного долга по кредиту)

$P_ч$:

$$P_ч = P_б - (N_{\text{п}} / 100 + C_{\%} + C_{\text{кр}}), \quad (4.23)$$

где $N_{\text{п}}$ - ставка налога на прибыль, %. В настоящее время ставка налога на прибыль установлена в размере 20 %.

3. Чистый доход $D_{\text{ч}}$:

$$D_{\text{ч}} = \Pi_{\text{ч}} + A, \quad (4.24)$$

4. Рентабельность деятельности станции общая $R_{\text{общ}}$:

а) Рентабельность по балансовой прибыли

$$R_{\text{общ,б}} = \Pi_{\text{б}} / C_{\text{общ}}, \quad (4.25)$$

б) Рентабельность по чистой прибыли

$$R_{\text{общ,ч}} = \Pi_{\text{ч}} / C_{\text{общ}}, \quad (4.26)$$

5. Частные показатели эффективности деятельности АГНКС

а) Показатели эффективности производства

- Отношение стоимости оборудования к производительности $K_{\text{обор}}$

$$K_{\text{обор}} = C_{\text{об}} / Q_{\text{год}}, \quad (4.27)$$

где $C_{\text{об}}$ - стоимость оборудования, руб.;

$Q_{\text{год}}$ - годовая производительность станции, м³.

- Коэффициент эффективности производства $K_{\text{эпр}}$

$$K_{\text{эпр}} = (\PhiЗП_{\text{общ с отч}} + \Pi_{\text{б}}) / (\PhiЗП_{\text{общ с отч}} + A + M), \quad (4.28)$$

где M – стоимость материалов (без стоимости газа), руб.

- Коэффициент прибыльности производства по балансовой и чистой прибыли $K_{\text{ппр}}$

$$K_{\text{ппр}} = \Pi_{\text{б(ч)}} / (\PhiЗП_{\text{общ с отч}} + A + M), \quad (4.29)$$

6. Показатели эффективности использования ресурсов станции

а) Эффективность использовании основных производственных фондов

- Коэффициент фондоотдачи Φ_0

$$\Phi_0 = B_p / C_{\text{опф}}, \quad (4.30)$$

где $C_{\text{опф}}$ - стоимость основных производственных фондов, руб.

- Коэффициент фондоёмкости Φ_e

$$\Phi_e = 1 / \Phi_o , \quad (4.31)$$

- Рентабельность основных производственных фондов по балансовой и чистой прибыли $R_{опф}$

$$R_{опф} = \Pi_{б(ч)} / C_{опф} , \quad (4.32)$$

б) Показатели эффективности использования труда

- Коэффициент прибыльности труда $K_{птр}$

$$K_{птр} = \Pi_{б(ч)} / \Phi ЗП_{общ с отч} , \quad (4.33)$$

- Производительность труда Π_T

$$\Pi_T = B_p / Ч_{п} , \quad (4.34)$$

с) Коэффициент оборачиваемости активов $K_{об}$

$$K_{об} = B_p / (C_{опф} + C_{оф}) , \quad (4.35)$$

где $C_{оф}$ - стоимость оборотных фондов (для расчёта принято, что она составляет 3,5% от стоимости основных производственных фондов), руб.

Очевидно, что анализ большинства частных показателей возможен при наличие нормативных их значений, однако общих нормативных значений не существует, в частном случае они определяются спецификой деятельности анализируемого предприятия, на основе анализа значений показателей в динамике. В частности, рост коэффициента оборачиваемости активов может быть искусственно завышен при переходе на использование арендованных основных средств. Или, например, рост значений коэффициента прибыльности производства может означать, что вложенные в заработную плату и оборудование средства работают эффективно. Также эти показатели сильно зависят от соответствующей отрасли, но и отраслевые нормативы или среднеотраслевые значения показателей отсутствуют. В данном диссертационном исследовании представляется целесообразным полученные результаты расчётов этих показателей для представления результатов деятельности АГНКС дать в виде в таблица 4.5.

Таблица 4.5 - Финансовые результаты и показатели эффективности АГНКС

| №№ п/п | Показатель | Условное обозначение | Значение |
|-----------|---|-------------------------|--------------|
| 1 | Выручка, руб. | V_p | 197100000 |
| 2 | Общие затраты | $C_{общ}$ | 122 868 441 |
| 3 | Прибыль балансовая, руб. | $П_ч$ | 74 231 559 |
| 4 | Заемные средства | I | 104 000 000 |
| 5 | Проценты по кредиту | $C_{\%}$ | 11 440 000 |
| 6 | Погашение основного долга | $C_{кр}$ | 20 800 000 |
| 7 | Прибыль чистая, руб. | $П_ч$ | 27 145 248,2 |
| 8 | Чистый доход | $Д_ч$ | 39 689 248,2 |
| 9 | Рентабельность общая по балансовой прибыли, % | $R_{общ.б}$ | 61 |
| 10 | Рентабельность общая по чистой прибыли, % | $R_{общ.б}$ | 22 |
| 11 | Отношение стоимости оборудования к производительности | $K_{обор}$ | 6,09 |
| 12 | Коэффициент эффективности производства | $K_{эпр}$ | 0,76 |
| 13 | Коэффициент прибыльности производства по балансовой/ чистой прибыли | $K_{ппр}$ | 0,65 / 0,24 |
| 14 | Коэффициент фондоотдачи | Φ_o | 2,2 |
| 15 | Коэффициент фондоёмкости | Φ_e | 0,46 |
| 16 | Рентабельность основных производственных фондов по балансовой / чистой прибыли, % | $R_{ОПФ}$ | 83 / 30 |
| 17 | Коэффициент прибыльности труда | $K_{птр}$ | 6,1 / 2,23 |
| 18 | Производительность труда руб./чел | $Пт$ | 12318750 |
| 19 | Коэффициент оборачиваемости активов | $K_{об}$ | 2,13 |

Выводы по результатам расчётов очевидны, станция рентабельна и к обязательному развитию рынка услуг по заправке автомобильного транспорта ГМТ и, как следствие, усилению конкуренции у предприятия имеются значительные резервы. Для подтверждения сделанных выводов представляется полезным определить объем услуг АГНКС, при реализации которого прибыль равна нулю, то есть критический объем реализации.

4.2.6 Определение точки безубыточности работы АГНКС

Определение критического объёма оказания услуг (объём услуг, при котором прибыль равна нулю) или точка безубыточности является частью известного анализа «затраты – объём – прибыль» или анализа критической точки, основанного на концепции маржинальной прибыли.

Анализ даёт возможность определить влияние, которое оказывают изменения в затратах, цене товара (тарифе), объёме его производства (реализации) на величину получаемой от реализации продуктов прибыли, определить, например, нижнюю границу тарифа за услуги. Эти направления анализа в рамках данного исследования не рассматривались.

Точка безубыточности (критический объём продаж) T_6 рассчитывается следующим образом:

$$T_6 = C_{\text{пост}} / \text{МП}_{\text{ед}} , \quad (4.36)$$

где $\text{МП}_{\text{ед}}$ - маржинальная прибыль на единицу услуги, руб.

При расчёте показателя не учитываются затраты на погашение и обслуживание кредита.

$$\text{МП}_{\text{ед}} = T - C_{\text{пер.уд}} , \quad (4.37)$$

где $C_{\text{пер.уд}}$ – затраты переменные удельные, руб.

$$C_{\text{пер.уд}} = C_{\text{пер}} / Q, \quad (4.38)$$

Результаты расчётов представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Расчёт критического объёма реализации услуг АГНКС

| №№ п/п | Показатель | Условное обозначение | Значение |
|-----------|--|-------------------------|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Постоянные затраты станции, руб. | $C_{\text{пост}}$ | 89 600 000 |
| 2 | Тариф за отпущенный 1 м ₃ газа, руб. | T | 15 |
| 3 | Удельные переменные затраты, руб. | $C_{\text{пер.уд}}$ | 6,01 |
| 4 | Маржинальная прибыль на отпущенный 1 м ₃ газа, руб. | $\text{МП}_{\text{ед}}$ | 8,99 |
| 5 | Критический объём реализации газа, м ₃ | T_6 | 9 966 629,6 |

Полученное значение критического объёма реализованных услуг составляет 75,7 % годового объёма продаж, таким образом, точки безубыточности станция достигнет через восемь месяцев работы, что подтверждает эффективность её функционирования.

4.3 Оценка экономической эффективности инвестиций в создание инфраструктуры АГНКС

Оценка эффективности проведена на примере инвестиций в условную АГНКС. Поскольку, состав участников проекта на данном этапе ограничен частными инвесторами, оценка эффективности для каждого участника (второй этап оценки экономической эффективности согласно [65] не проводилась.

Экономическая эффективность инвестиционного проекта характеризуется системой показателей, отражающих соотношение затрат и результатов применительно к интересам его участников, т.е. производится оценка эффективности и самих инвестиций, и эффективности эксплуатации объекта инвестирования, представленная в п 4.2. В качестве затрат выступают, как инвестиционные (строительство, в нашем случае аренда, станции с инженерными сетями, приобретение оборудования и т.п.), так и эксплуатационные затраты в процессе работы станции. Оценивалась только коммерческая эффективность данного проекта.

Эффективность инвестиций в создание и эксплуатацию станции предлагается оценивать в соответствии с общепринятыми многочисленными методиками, следующими простыми показателями:

- Норма доходности инвестиций ARR (%).

При расчёте этого показателя используется средняя величина чистого дохода. Согласно принятым допущениям и результатам расчётов этот показатель остаётся постоянным, норма доходности в нашем случае может быть рассчитана по формуле:

$$ARR = D_{\text{ч}} / I, \quad (4.39)$$

где: $D_{\text{ч}}$ - доход чистый, руб.;

I – размер кредита.

$$ARR = 39\,689\,248,2 / 104\,000\,000 = 0,38 = 38 \%$$

- Период окупаемости проекта PP (год):

$$PP = I / D_{\text{ч}}, \quad (4.40)$$

где: I – размер кредита;

$D_{\text{ч}}$ - доход чистый, руб..

$$PP = 104\,000\,000 / 39\,689\,248,2 = 2,6 \text{ лет}$$

Экономически обоснованного значения показателя PP не существует, однако, верхней границей показателя является срок реализации проекта. Приемлемое значение периода окупаемости выбирает для себя инвестор проекта. Например, частные инвесторы, как в нашем случае, и банки предпочитают финансировать проекты с коротким сроком окупаемости (3 – 5 лет), а институты развития, такие как Внешэкономбанк финансируют только долгосрочные проекты с окупаемостью свыше 5 лет.

- Чистый доход NV .

Показатель NV характеризует величину стоимости проекта за весь срок существования без учёта фактора дисконтирования. Проект считается доходным, если его чистый доход выше нуля. Если чистый доход проекта отрицательный, проект следует отклонить.

Результаты расчётов показали, что норма доходности инвестиций достигает 38 %, срок окупаемости инвестиций – 2,6 года, чистый доход положительный и составляет 39 689 248,2 руб в год.

По результатам анализа можно сделать следующий вывод: полученные значения показателей эффективности подтверждают целесообразность создания и коммерческой эксплуатации АГНКС и объектов инфраструктуры, обеспечивающей перевод транспорта на ГМТ.

Выводы по четвёртой главе

В 4 главе произведено технико - экономическое обоснование формирования инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций.

Проанализирована производственная деятельность АГНКС, их характеристики, принципы работы и управления технологическим процессом. На основе нормативных документов сформулированы требования по безопасной заправке КПП.

На стадии проектирования к АГНКС предъявляются высокие требования по надёжности и безопасности. Поэтому, в соответствии с законодательством и нормативно – технической документацией при эксплуатации АГНКС исключаются негативные воздействия на человека и окружающую природную среду за счёт уменьшения вредных выбросов.

Очевидно, что улучшение экологической ситуации в городе окажет комплексное влияние на экономику и население: снизится заболеваемость населения, снизятся темпы износа дорожного покрытия, зданий и сооружений, в том числе объектов транспортной инфраструктуры, а также нагрузка на зелёные насаждения города, примыкающие к транспортной сети и т.п. Перечисленные последствия приведут к значительной экономии средств жилищно – коммунальной сферы, связанных с эксплуатацией соответствующих объектов, затрат населения на медицину, а также средств соответствующих статей бюджета.

Современная концепция формирования газозаправочной сети предусматривает создание разветвлённой сети АГНКС, которые должны удовлетворять высоким требованиям, как по надёжности, так и по экономичности.

Представлена схема социально- экономического эффекта формирования инфраструктуры АГНКС и перехода работы АТ на ГМТ на городском уровне для бюджета и бизнеса, перевозчика и населения.

Дана дифференцированная оценка и показан соответствующий экономический эффект от функционирования инфраструктуры АГНКС Санкт – Петербурга за счёт сокращения издержек, связанных с эксплуатацией

автомобильного транспорта на ГМТ. На основе исходных данных приведены результаты и показатели экономической деятельности АГНКС (на примере станции среднего типа). Выполнен расчёт результирующих показателей экономической эффективности АГНКС, а также проведён анализ «затраты – объём – прибыль», для определения точки безубыточности её работы.

Полученное значение критического объёма реализованных услуг составляет 75,7 % годового объёма продаж, таким образом, точки безубыточности станция достигнет через восемь месяцев работы, что подтверждает эффективность её функционирования; норма доходности инвестиций достигает 38 %, срок окупаемости инвестиций – 2,6 года; чистый доход положительный и составляет в 39 689 248,2 руб в год. В целом экономический эффект от производственной деятельности всей инфраструктуры АГНКС СПб можно прогнозировать в объёме около 1- го млрд. руб в год.

Использование природного газа в качестве топлива обеспечивает повышение экономической эффективности транспорта за счёт снижения эксплуатационных затрат его работы, что, в свою очередь, повышает энергоэффективность экономики и обеспечивает энергетическую безопасность государства, в том числе в период экономического кризиса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В свете Распоряжение Правительства РФ о газе (от 13.05.2013 г. № 767- р) по вопросам использования природного газа в качестве моторного топлива в целях повышения энергоэффективности и конкурентоспособности транспортного комплекса Российской Федерации, итогом диссертационного исследования являются следующие результаты:

1. В России появляется устойчивая тенденция увеличения объёмов потребления ГМТ. При этом имеется инфраструктурная недостаточность сети АГНКС в том числе 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 о составе газомоторного транспорта, определён тренд минимального ($103061 \text{ м}^3/\text{сут}$) и максимального ($138536 \text{ м}^3/\text{сут}$) среднесуточного потребления ГМТ, была составлена регрессионная модель суточного потребления ГМТ автотранспортом и 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 для заправки автомобильного транспорта Санкт – Петербурга, что позволяет представить и оценить их состав, содержание и характеристики функционирования в пространстве и времени и обеспечить его эффективную эксплуатацию, с учётом критериев размещения (доступности АГНКС для автотранспорта, потенциальных потребителей КПП, выбора типоразмера АГНКС и обеспечения их оптимальной загрузки, а также обеспечения безопасной для окружающей среды эксплуатации сети АГНКС). 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 позволит решить актуальную научно – практическую задачу по переводу работы АТ на ГМТ, а её концептуальный характер может быть распространён 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 станций среднего типа). Полученное значение критического объёма реализованных услуг составляет 75,7 % годового объёма продаж, таким образом, точки безубыточности станция достигнет через восемь месяцев работы, что подтверждает эффективность её функционирования; норма доходности инвестиций 38 %, срок окупаемости инвестиций – 2,6 года; чистый доход положительный и составляет в 39 689 248,2 руб в год. В целом экономический эффект от производственной деятельности всей инфраструктуры АГНКС СПб можно прогнозировать в объёме около 1-го 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.

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

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

| | |
|---------|---|
| а/к | – автомобильная колонна; автоколонна |
| АГНКС | – автомобильная газонаполнительная компрессорная станция |
| АП | – автопарк |
| АТ | – автомобильный транспорт |
| АТП | – автотранспортное предприятие |
| АТС | – автотранспортное средство |
| ГБА | – газобаллонные автомобили |
| ГБО | – газобаллонное оборудование |
| ГМА | – газомоторные автомобили |
| ГМТ | – газомоторное топливо |
| ГСМ | – горюче-смазочные материалы |
| ГИБДД | – Государственная инспекция безопасности дорожного движения РФ |
| ЕЭК ООН | – Европейская экономическая комиссия Организации объединённых наций |
| КАД | – кольцевая автомобильная дорога |
| КПГ | – компримированный (сжатый) природный газ |
| МАЗС | – многотопливная автомобильная заправочная станция |
| ПАГЗ | – передвижной автомобильный газовый заправщик |
| ПДК | – предельно-допустимая концентрация |
| СМО | – система массового обслуживания |
| СПб | – Санкт – Петербург |
| СПбГАСУ | – Санкт-Петербургский государственный архитектурно – строительный университет |
| СПбГЭУ | – Санкт-Петербургский государственный экономический университет |
| ТО и Р | – техническое обслуживание и ремонт |
| ТС | – транспортное средство |
| ТюмГНГУ | – Тюменский государственный нефтегазовый университет |
| ТЭР | – топливно-энергетические ресурсы |
| УДС | – улично-дорожная сеть |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов (в 2-х томах). Москва, Юнити. 1998. 1000 с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Береговая И.Б., Береговой Е.В. Производственный менеджмент. Практикум, Оренбург: ОГИМ, 2010. – 120 с.
4. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико – статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974. – 159 с.
5. Бирюкова Е.Р. Экономика автотранспортного предприятия/ Е.Р. Бирюкова, Л.М. Иванова. – М.: Транспорт.1988. – 116с.
6. Болдин А.П., Максимов В.А. Основы научных исследований: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования. – М.: «Академия», 2012. – 336 с.
7. Бородина Н.С. Методика оценки эффективности инвестиционных энергетических проектов: Учебное пособие/ Н.С.Бородина, В.М.Каравайков, Н.Р.Подкопаев, Е.И.Бородина, И.С.Смирнов Кострома: Изд-во КГТУ, 2006.-217с.
8. Будзуляк Б.В. Природный газ на транспорте // Газовая промышленность. – 1997. - №5 – с.50.
9. Вабищевич П.Н. Численное моделирование: Учебное пособие. – М.: Изд-во Московского университета, 1993. – 152 с.
10. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Золотаревский Л.С. Транспорт на газе. Москва «Недра» 1992 г. – 342 с.
11. Вельниковский А.А. Концепция инфраструктуры газомоторного парка автомобильного транспорта. Пути развития // Вестник гражданских инженеров /СПб, СПбГАСУ. – 2014. - №6 (47).- С. 183 – 187.
12. Вельниковский А.А. Анализ и принципы формирования систем заправочных станций газомоторных автомобилей Санкт – Петербурга

- //Вестник гражданских инженеров /СПб, СПбГАСУ. – 2015. - №3 (50).- С. 225 - 227.
13. Вельниковский А.А. Оптимизация инфраструктуры автомобильных газозаправочных компрессорных станций Санкт – Петербурга. //Вестник гражданских инженеров /СПб, СПбГАСУ. -2015. - №6 (53).- С.185 - 189.
 14. Вельниковский А.А. Экспертная оценка факторов, влияющих на эксплуатацию газомоторных автомобилей. //Вестник гражданских инженеров /СПб, СПбГАСУ. – 2016. - №1 (54).- С. 123 – 126.
 15. 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.
 16. Вельниковский А.А. Моделирование инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций Санкт – Петербурга // Вестник гражданских инженеров /СПб, СПбГАСУ. – 2017. - № 4 (63). – С. 201 – 204.
 17. 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.
 18. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология. М.: Наука, 1988.-208 с.
 19. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико – экономических исследованиях. – М.: Финансы и статистика, 1988. 254 с.
 20. Временные методические указания по определению коммерческой эффективности новой техники в ОАО «Газпром»: Утв. ОАО «Газпром» 17.08.01.-М., 2001. – 38 с.
 21. Галушко В.Г. Случайные процессы и их применение на автомобильном транспорте. Киев: Вища школа, 1980, - 271 с.

22. Гайнуллин Ф.Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте /Ф.Г.Гайнуллин, А.И.Гриценко, Ю.Н.Васильев, Л.С.Золотаревский. – М.: Недра.1986.
23. Гайнуллин Ф.Г. Принципы проектирования сети АГНКС в городах / Ф.Г.Гейнуллин,Ю.Н.Васильев,Л.С.Золотаревский//Газовая промышленность. 1987
24. Гаркушкина С.В. Проблемы финансово-хозяйственной деятельности газораспределительных организаций и пути их решения/ Газ России.№4. – 2007. – С.27 – 31.
25. Гаркушина С.В. Техничко – экономическое обоснование применения газа в качестве моторного топлива// Науч. тр. молодых учёных. Вып.9. – Кострома: КГТУ. – 2008.
- 26.Герасимов И.Д. Научное исследование. – М., 1972.
- 27.Геронимус Б.Л., Цапфин Л.В. Экономико – математические методы в планировании на автомобильном транспорте. М.: Транспорт, - 1982. – 192 с.
- 28.Глазков В.Ф., Вельниковский А.А. Анализ и принципы формирования системы заправочных станций газомоторных автомобилей Санкт-Петербурга //Вестник гражданских инженеров /СПб, СПбГАСУ. – 2014. - №3 (50).- С. 225 – 227.
- 29.Глазков В.Ф., ЕвтюковС.А.. Основы теории надёжности, работоспособности и диагностики машин: Учебное пособие. Санкт - Петербург, Издательский дом «Петрополис», 2011.- 450с.
- 30.Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика/ В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа,2004. – 479 с.
31. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие/ СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с.
- 32.Горелова Г.В. Теория вероятности и математическая статистика в примерах и задачах. – Ростов н/Д. Феникс, 2005 г. 475 с.
- 33.Горский Л.К.Автомобильный транспорт России в условиях реформ. М.-СПб: Изд-во АОЗТ «НТО Севтрансинвест», 1995. 278 с.

34. ГОСТ 7.1.-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления (введен Постановлением Госстандарта РФ от 25.11.2003 № 332-ст), «Библиотека и закон», выпуск 18, 2005.
35. ГОСТ Р 7.0.11-2011 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 13.12.2011 № 811-ст).
36. Дедков Т.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. – М: Высшая школа, 1987. – 406 с.
37. Демиденко Е.З. Линейная и нелинейная регрессии. М.: Финансы и статистика, 1981. - 304 с.
38. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. - 510 с.
39. Доронин В.В., Зоря Е.И., Мигдалов В.Н., Прохоров А.Д., Сенкевич И.В. Моделирование и оптимизация размещения объектов системы нефтепродуктообеспечения на территории экономического района. Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990.
40. Дулесов. А.С., Прутовых М.А. Методика решения задачи об оптимальном размещении производственных объектов // Электронный научный журнал Современные проблемы науки и образования. – 2013. - №5.
41. Евстифеев А. А. Математическая модель процесса заправки транспортных средств КПП на АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 1 (37). – С. 24–31.
42. Евстифеев А. А., Заева М. А., Хетагуров Я. А. Применение математического моделирования при испытаниях и отработке сложных технических систем // Вестник Национального исслед. ядерного ун-та МИФИ. – 2013. – Т. 2. – № 1. – С. 115.

43. Евстифеев А.А. Методология рационального построения и непрерывного совершенствования региональной сети АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. - №3 (39). – С. 53-60.
44. Евстифеев А.А. Структурный синтез и алгоритмы решения для математической модели системы газовой заправки транспорта и газоснабжения автономных потребителей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. - №1 (21). – С. 79-85.
45. Ефимова М.Р. Общая теория статистики: учеб. пособие/ М.Р. Ефимова, В.М., в.м. Рябцев. – М.: Финансы и статистика, 1991. – 304 с.
46. Завадцкий Ю.В. Статистическая обработка эксперимента в задачах автомобильного транспорта: учебное пособие. – М.: МАДИ, 1982. – 135 с.
47. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 496 с.
48. Ильичев А.В., Грущанский В.А. Эффективность адаптивных систем. – М.: Машиностроение, 1987. 232 с.
49. Капустин А.А. Природный газ – топливо для автомобильных ДВС. АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2015. № 7. С 3-6.
50. Карпов В.В., Коробейников А.В., Малышев В.Ф., Фролькис В.А. Математическая обработка эксперимента и его планирование. Учеб. пособие М.: АСВ, СПб., СПбГАСУ, 1998. – 100 с.
51. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженерных и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
52. Котиков Ю.Г. Геоинформационные системы: учебное пособие/ Ю.Г.Котиков; М-во образования и науки РФ, С-Петербур.гос.архитектур.-строит.ун-т. – СПб, 2016 – 222 с.
53. Кравченко Т.К. Процесс принятия плановых решений. М.: Экономика, 1974. – 184 с.
54. Краснощёков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей (2-е изд.) – М.: Фазис; 2000. – 412 с.

55. Кузин Ф.А. Кандидатская диссертация. – М., 1997
56. Куликов Е.В. Высшая математика для горных вузов: учебное пособие, Ч.1. Аналитическая геометрия и элементы линейной алгебры. Издательство: Горная книга, 2012.- 504 с.
57. Курейчик В.М., Лебедев Б.К. Поисковая адаптация. Теория и практика. М.:Физматлит. 2006 год. – 270 с.
58. Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика. 2-е изд.,- М.:, 2009. – 472 с.
59. Лунгу К.Н. Линейное программирование. М.: Физматлит, 2005.-128 с.
60. Майорова Н.Л. Методы оптимизации: учебное пособие. ЯрГУ, 2015.- 112 с.
61. Малышенко А.М. Математические основы теории систем. Учебник для вузов. – Томск: ТПУ, 2008. – 364 с.
62. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ: межвузовский тематический сборник трудов. СПб, СПбГАСУ; ред. Б.Г. Вагер, 2001 – 284 с.
63. Мелкумов Я.С. Экономическая оценка эффективности инвестиций. –М.: ИКЦ «ДИС», 2009. – 160 с.
64. Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «АГНКС» для студентов специальности 090700 – Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ. – г. Ивано-Франковск, 1997 (Краснов И.И., Матвеева М.В., Телков А.П.).
65. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция, исправленная и дополненная) (утв. Минэкономки РФ, Минфином РФ и Госстроем РФ от 21 июня 1999 г. п вк 477).
66. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов . – М.: Экономика, 2000.- 423 с.
67. Митвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа. – М., 1982.

68. Моисеев Н.Н. Математические основы системного анализа. М.: Либроком, 2014 г. – 532 с.
69. Мушик Э., Мюллер П., Методы принятия технических решений: Пер. с нем. М.: Мир, 1990 г. – 208 с.
70. Научные работы: Методика подготовки и оформления./ Авт-сост.И.Н.Кузнецов. -2-е изд., перераб, и доп. – Мн.: Амалфея, 2000. – 544 с.
71. Новожилов В.В. Измерение затрат и результатов/ В.В.Новожилов. – М.: Экономика, 1967. – 156 с.
72. «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» (Распоряжение Министерства транспорта РФ от 14.03.2008 г. № АМ-23-р).
73. «О введении в действие новой редакции санитарно – эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 «Санитарно – защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (Постановление от 25 сентября 2007 г. №74, с изменениями от 25 апреля 2014 г.).
74. «О внесении изменений в Федеральный закон « О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (от 4 марта 2013 г. № 22- ФЗ).
75. «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» (от 27 июля 2010 г. №225 – ФЗ).
76. Организация обучения безопасности труда. Система стандартов безопасности труда (ССБТ 12.0.004-90).
77. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. М.: ИВСТЭ, 2002.- 31 с.
78. Орлов А.И. Организационно – экономическое моделирование: теория принятия решений: учебник/ А.И.Орлов. – М.: КНОРУС, 2010. – 568 с.
79. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (Федеральный закон от 21 июля 1997 № 116 – ФЗ).

80. «О требованиях к обеспеченности автомобильных дорог общего пользования объектами дорожного сервиса, размещёнными в границах полос отвода» (постановление Правительства РФ от 29.10 2009 г. № 860 с изменениями постановлением Правительства от 29.05.2013 № 451).
81. Основы научных исследований: Учеб. для техн. вузов/ В.И. Крутов, И.М. Грушко, В.В. Попов и др.; Под ред. В.И. Крутова, В.В. Попова. – М.: Высш.школа., 1989. – 400 с.
- 82.«Об утверждении Правил предоставления субсидий на закупку автобусов и техники для жилищно – коммунального хозяйства, работающих на газомоторном топливе, в рамках программы «Автомобильная промышленность» государственной программы РФ «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности». Постановление Правительства Российской Федерации от 08.10.2014 г. №1027 (отв. МПиТ РФ).
83. «Об утверждении свода правил «Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности». Приказ МЧС России от 5 мая 2014 г. №221.
- 84.Певнев Н.Г. Методы заправки природным газом автомобилей в период становления их эксплуатации/ Н.Г. Певнев , А.С. Бакунов// Материалы Международного конгресса «Архитектура. Строительство. Транспорт. Технологии. Инновации». – Омск: СибАДИ, 2013. – Кн.3. – С. 59 – 64.
85. Перевод автотранспорта на природный газ (нормативно-справочное пособие, под ред. Морева А.И.). М., ИРЦ Газпром. 1995. – 180 с.
- 86.Персианов В.А., Скалов К.Ю., Усков Н.С. Моделирование транспортных систем. М.: Транспорт. 1972. – 208 с.
87. Повышение эффективности эксплуатации автомобильных газонаполнительных компрессорных станций // И.Ф. Маленкина диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук Москва 2005.г.

88. Постановление правительства РФ от 01.01.2002 №1 (ред.от 07.07.2016) «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы».
89. Правила подключения (технологического присоединения) объектов капитального строительства к сетям газораспределения (Постановление Правительства РФ от 30.12.2013 г. № 1314).
90. Правила технической эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта (Приказ от 09.12.1970 №19).
91. Правила технической эксплуатации автомобильных газонаполнительных компрессорных станций. ВРД 39 – 2.5 – 082 – 2003 (утв. ОАО «Газпром» 15.05.2003).
92. Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов» ОАО «Газпром» - ВРД39-1.10-006-2000.
93. «Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов» ПБ 03-108-96.
- 94.«Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» (Приказ Ростехнадзора от 25.03.2014 №116).
95. Проект технико – экономического обоснования и программы развития сети газозаправочных автомобильных станций в Приморском крае. «Центр стратегических исследований топливно – энергетического комплекса Дальнего Востока [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.programma.x-pdf.ru/16ekonomika/632321-2-proekt-tehniko-ekonomicheskogo-obosnovania-programmi-razvitiya-seti-gazozapravochnih-avtomobilnih-stanciy-primorskom-k.php>).
96. Прусаков Г.М. Математические модели и методы в расчётах на ЭВМ. – М.: Физматлит, 1993. – 144 с.
97. Рабочая книга по прогнозированию./ Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (ответ.ред.). М.: Мысль, 1982. 430 с.

98. Радченко С.Г. Методология регрессионного анализа: Монография. – К.: «Корнийчук». 2011. – с.376.
- 99.«Развитие транспортной системы СПб на 2015 - 2020 г.» Государственная программа СПб (Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 30.06.2014 №552).
100. Распоряжение Правительства Российской Федерации «О расширении использования природного газа в качестве моторного топлива» (от 13 мая 2013 г. №767-р).
101. Распоряжение Правительства Санкт-Петербурга « О Программе внедрения газомоторного топлива в автотранспортном комплексе Санкт - Петербурга на 2014-2023 годы» (от 25.08.2014 г. №52-ПП).
102. РД 03112194 – 1095 – 03. Руководство по организации эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе. – М., НАМИ, 2003.
103. Российская газовая энциклопедия. Гл.ред. Р. Вяхирев. Р 76. – М.: - Большая Российская энциклопедия. – 2004. – 527 с.
104. Рыков А.С. Системный анализ. Модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации. Москва: Издательский Дом МИСиС, 2009. – 608 С.
105. Сабитов Р.А. Основы научных исследований: Учеб.пособие/ Челябинск, 2002. - 138 с.
106. Самарский А.А, Михайлов А.П. Математическое моделирование (2-е изд.). – М.: Физматлит, 2001 . – 320 с.
107. Самарский А.А. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиции математического моделирования.-М.: Наука, 1988. – 176 с.
108. Система обеспечения эффективного развития и эксплуатация сети метановых автозаправочных станций. (И.Ф. Маленкина, Г. Ровнер, Я. Мкртычан. «Нефть и газ РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина» 2005 г. – 274 с.

109. «Станции автомобильные заправочные. Требования пожарной безопасности». Утверждён свод правил Приказом МЧС России от 05.05.2014 года № 221 взамен устаревших НПБ 111-98.
110. Стратегия экономического и социального развития Санкт – Петербурга на период до 2030 года. Стратегия 2030. Постановление Правительства Санкт – Петербурга от 13.05.2014 г. № 355.
111. Суслов В.И., Ибрагимов Н.М., Талышева Л.П., Цыплаков А.А. Эконометрия. – Новосибирск: СО РАН, 2005. – 744 с.
112. «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы». СНиП 3-05-05-84.
113. Транспорт на альтернативном топливе. Международный научно – технический журнал. №4 (40) 2014 г. с.76,77 (Мировой рынок КППГ).
114. Фролькис В.А. Введение в теорию и методы оптимизации для экономистов: Учебное пособие /В.А.Фролькис. – 2.изд.-СПб.: Питер, 2002.- 314 с.
115. Фролькис В.А. Линейная и нелинейная оптимизация: (В задачах инженер.-строит.профиля): Учебное пособие для студентов вузов.- СПб, 2001.- 305 с.
116. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978, - 302с.
117. Шмуйлович А.В. Объективные проблемы обоснования инвестиций в автомобильные дороги в условиях рыночной экономики. – Тезисы доклада на научно – практической конференции «Управление инновациями и инновационной деятельностью». – Владимир: ВлГУ, 2004.
118. Автомобильные газонаполнительные компрессорные станции. Проектирование АГНКС. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.agnks.ru/
119. «Газовая промышленность» ежемесячный научно – технический журнал. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gazprom.ru/press/journal/journal-gas-industry/>

120. Госавтоинспекция МВД России [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gibdd.ru>
121. Единый оператор по развитию рынка газомоторного топлива Российской Федерации [Электронный дневник]. Режим доступа: www.gazprom-gmt.ru
122. Концепция комплексного развития территорий Ленинградской области, прилегающих к границам Санкт – Петербурга / Коллектив авторов. – СПб. – 115 стр. Фонд «ЦСР «Северо-Запад» для Правительства ЛО. Режим доступа: <http://econ.lenobl.ru/Document/1406099853.pdf>.
123. Национальная газомоторная ассоциация (Информационный бюллетень [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ngvrus.ru/>
124. «Нефтегазовая вертикаль». Национальный отраслевой журнал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ngv.ru/>
125. Транспорт Российской Федерации. Портал для специалистов транспортной отрасли. «Развитие газомоторного рынка России» Евгений Пронин, ОАО «Газпром». [Электронный ресурс] Режим доступа: [/www.rostransport.com/](http://www.rostransport.com/)
126. Федеральная служба государственной статистики: [Электронный ресурс]. М., 1999-2013. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>.
127. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (Распоряжение Правительства РФ от 13 ноября 2009 года №1715-р). Режим доступа: <http://www.poliset.ru/energy2030/>
128. «Центр транспортного планирования Санкт – Петербурга». Организация и осуществление региональных научно – технических и инновационных программ и проектов в сфере транспортного комплекса Санкт – Петербурга. Режим доступа: <http://ctpspb.ru/>
129. <http://www.gazpronin.ru/Encyclopedia/> (World_NGV_Stats.pdf 2017 г.)
130. BP Statistical Review of World Energy. [Электронный ресурс].

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 - Ранги факторов по экспертным оценкам

| эксперт/ свойства | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| F1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 |
| F2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 |
| F3 | 4,5 | 6 | 4 | 6 | 5,5 | 6 | 5,5 | 7 | 5 | 5,5 |
| F4 | 6 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 3 | 4,5 | 6,5 | 5,5 |
| F5 | 3 | 4 | 5 | 3,5 | 4 | 3 | 4 | 4,5 | 3 | 3,5 |
| F6 | 4,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3 | 4 | 5,5 | 3 | 4 | 3,5 |
| F7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 5,5 | 5 | 7 | 6 | 6,5 | 7 |

Таблица 2 - Ранжирование факторов в порядке убывания корреляций попарно (по Спирмену). Отмеченные корреляции значимы на уровне $p < .05000$

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0,879 | 0,883 | 0,918 | 0,864 | 0,855 | 0,782 | 0,734 | 0,982 | 0,945 |
| 0,879 | 1 | 0,889 | 0,954 | 0,972 | 0,916 | 0,692 | 0,925 | 0,935 | 0,952 |
| 0,883 | 0,889 | 1 | 0,865 | 0,883 | 0,739 | 0,667 | 0,764 | 0,883 | 0,899 |
| 0,918 | 0,954 | 0,865 | 1 | 0,873 | 0,836 | 0,845 | 0,927 | 0,927 | 0,982 |
| 0,864 | 0,972 | 0,883 | 0,873 | 1 | 0,945 | 0,555 | 0,826 | 0,936 | 0,898 |
| 0,855 | 0,916 | 0,739 | 0,836 | 0,945 | 1 | 0,564 | 0,789 | 0,927 | 0,871 |
| 0,782 | 0,692 | 0,667 | 0,845 | 0,555 | 0,564 | 1 | 0,771 | 0,709 | 0,796 |
| 0,734 | 0,925 | 0,764 | 0,927 | 0,826 | 0,789 | 0,771 | 1 | 0,78 | 0,897 |
| 0,982 | 0,935 | 0,883 | 0,927 | 0,936 | 0,927 | 0,709 | 0,78 | 1 | 0,954 |
| 0,945 | 0,952 | 0,899 | 0,982 | 0,898 | 0,871 | 0,796 | 0,897 | 0,954 | 1 |

Таблица 3 - Ранги факторов по эксплуатационным оценкам

| экс/свой | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Σ |
|----------|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| F1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 36,9 |
| F2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 29,4 |
| F5 | 3 | 4 | 5 | 3,5 | 4 | 3 | 4 | 4,5 | 3 | 3,5 | 9,9 |
| F6 | 4,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3 | 4 | 5,5 | 3 | 4 | 3,5 | 9,5 |
| F3 | 4,5 | 6 | 4 | 6 | 5,5 | 6 | 5,5 | 7 | 5 | 5,5 | 5,9 |
| F4 | 6 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 3 | 4,5 | 6,5 | 5,5 | 5 |
| F7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 5,5 | 5 | 7 | 6 | 6,5 | 7 | 3 |

Таблица 4 - Упорядочение по суммарной оценке (по баллам)

| Эк-т/ св-ва | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Σ |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 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 |
| F3 | 0,5 | 0,5 | 0,8 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,8 | - | 0,5 | 0,5 | 5,9 |
| F4 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 1,2 | 1 | - | 0,5 | 5 |
| F5 | 1 | 0,8 | 0,7 | 1 | 0,8 | 1,4 | 1 | 1 | 1,2 | 1 | 9,9 |
| F6 | 0,5 | 1,2 | 1 | 1 | 1,5 | 1,3 | 0,8 | 1,5 | 0,6 | 1 | 9,5 |
| F7 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | - | 0,5 | 0,8 | 0,2 | 0,5 | - | - | 3 |

Таблица 5 - Упорядочение по первому эксперту (рангу)

| Эксперт /свойства | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Σ |
|----------------------|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| F1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 36,9 |
| F2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 29,4 |
| F5 | 3 | 4 | 5 | 3,5 | 4 | 3 | 4 | 4,5 | 3 | 3,5 | 9,9 |
| F6 | 4,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3 | 4 | 5,5 | 3 | 4 | 3,5 | 9,5 |
| F3 | 4,5 | 6 | 4 | 6 | 5,5 | 6 | 5,5 | 7 | 5 | 5,5 | 5,9 |
| F4 | 6 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 3 | 4,5 | 6,5 | 5,5 | 5 |
| F7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 5,5 | 5 | 7 | 6 | 6,5 | 7 | 3 |

Таблица 6 - Упорядочение по второму эксперту (рангу)

| эксперт/ свойства | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Σ |
|----------------------|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| F1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 36,9 |
| F2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 29,4 |
| F6 | 4,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3 | 4 | 5,5 | 3 | 4 | 3,5 | 9,5 |
| F5 | 3 | 4 | 5 | 3,5 | 4 | 3 | 4 | 4,5 | 3 | 3,5 | 9,9 |
| F3 | 4,5 | 6 | 4 | 6 | 5,5 | 6 | 5,5 | 7 | 5 | 5,5 | 5,9 |
| F4 | 6 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 3 | 4,5 | 6,5 | 5,5 | 5 |
| F7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 5,5 | 5 | 7 | 6 | 6,5 | 7 | 3 |

Таблица 7 - Упорядочение по третьему эксперту (рангу)

| эксперт/ свойства | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Σ |
|----------------------|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| F1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 36,9 |
| F2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 29,4 |
| F6 | 4,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3 | 4 | 5,5 | 3 | 4 | 3,5 | 9,5 |
| F3 | 4,5 | 6 | 4 | 6 | 5,5 | 6 | 5,5 | 7 | 5 | 5,5 | 5,9 |
| F5 | 3 | 4 | 5 | 3,5 | 4 | 3 | 4 | 4,5 | 3 | 3,5 | 9,9 |
| F4 | 6 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 3 | 4,5 | 6,5 | 5,5 | 5 |
| F7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 5,5 | 5 | 7 | 6 | 6,5 | 7 | 3 |

Таблица 8 – Упорядочение по четвёртому эксперту (рангу)

| эксперт/ свойства | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Σ |
|----------------------|-----|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|
| F1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 1 | 1,5 | 36,9 |
| F2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 2 | 1,5 | 29,4 |
| F5 | 3 | 4 | 5 | 3,5 | 4 | 3 | 4 | 4,5 | 3 | 3,5 | 9,9 |
| F6 | 4,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3 | 4 | 5,5 | 3 | 4 | 3,5 | 9,5 |
| F4 | 6 | 6 | 6 | 5 | 7 | 7 | 3 | 4,5 | 6,5 | 5,5 | 5 |
| F3 | 4,5 | 6 | 4 | 6 | 5,5 | 6 | 5,5 | 7 | 5 | 5,5 | 5,9 |
| F7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 5,5 | 5 | 7 | 6 | 6,5 | 7 | 3 |

Рисунок 1 - Данные варьирования значений фактора $F2$ по уравнению регрессии

Таблица 9 - Корреляция по Спирмэну

| | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 1,000000 | 0,811679 | 0,867647 | 0,779412 | 0,782691 | 0,647059 | 0,588235 | 0,970588 | 0,925476 |
| 3 | 0,811679 | 1,000000 | 0,782691 | 0,811679 | 0,600000 | 0,463817 | 0,637748 | 0,811679 | 0,853310 |
| 4 | 0,867647 | 0,782691 | 1,000000 | 0,794118 | 0,753702 | 0,750000 | 0,897059 | 0,882353 | 0,985184 |
| 5 | 0,779412 | 0,811679 | 0,794118 | 1,000000 | 0,927634 | 0,279412 | 0,735294 | 0,897059 | 0,850841 |
| 6 | 0,782691 | 0,600000 | 0,753702 | 0,927634 | 1,000000 | 0,318874 | 0,666737 | 0,898645 | 0,794461 |
| 7 | 0,647059 | 0,463817 | 0,750000 | 0,279412 | 0,318874 | 1,000000 | 0,647059 | 0,529412 | 0,686644 |
| 8 | 0,588235 | 0,637748 | 0,897059 | 0,735294 | 0,666737 | 0,647059 | 1,000000 | 0,661765 | 0,835914 |
| 9 | 0,970588 | 0,811679 | 0,882353 | 0,897059 | 0,898645 | 0,529412 | 0,661765 | 1,000000 | 0,940403 |
| 10 | 0,925476 | 0,853310 | 0,985184 | 0,850841 | 0,794461 | 0,686644 | 0,835914 | 0,940403 | 1,000000 |

Таблица 10 - Корреляция по Спирмэну

| | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2 | 1,000000 | 0,819689 | 0,924062 | 0,954864 | 0,880406 | 0,492833 | 0,893260 | 0,893260 | 0,937958 |
| 3 | 0,819689 | 1,000000 | 0,782691 | 0,811679 | 0,600000 | 0,463817 | 0,637748 | 0,811679 | 0,853310 |
| 3 | 0,924062 | 0,782691 | 1,000000 | 0,794118 | 0,753702 | 0,750000 | 0,897059 | 0,882353 | 0,985184 |
| 4 | 0,954864 | 0,811679 | 0,794118 | 1,000000 | 0,927634 | 0,279412 | 0,735294 | 0,897059 | 0,850841 |
| 5 | 0,880406 | 0,600000 | 0,753702 | 0,927634 | 1,000000 | 0,318874 | 0,666737 | 0,898645 | 0,794461 |
| 6 | 0,492833 | 0,463817 | 0,750000 | 0,279412 | 0,318874 | 1,000000 | 0,647059 | 0,529412 | 0,686644 |
| 7 | 0,893260 | 0,637748 | 0,897059 | 0,735294 | 0,666737 | 0,647059 | 1,000000 | 0,661765 | 0,835914 |
| 8 | 0,893260 | 0,811679 | 0,882353 | 0,897059 | 0,898645 | 0,529412 | 0,661765 | 1,000000 | 0,940403 |
| 9 | 0,937958 | 0,853310 | 0,985184 | 0,850841 | 0,794461 | 0,686644 | 0,835914 | 0,940403 | 1,000000 |

Таблица 11 - Таблица парных коэффициентов корреляции

| | F1 | F2 | F5 | F6 | F3 | F4 | F7 |
|----|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| F1 | 1 | <i>-0.26</i> | <i>-0.31</i> | -0.66 | <i>0.56</i> | <i>-0.36</i> | -0.60 |
| F2 | | 1 | <i>0.47</i> | <i>-0.05</i> | <i>-0.56</i> | <i>-0.32</i> | <i>-0.29</i> |
| F5 | | | 1 | <i>-0.15</i> | <i>-0.32</i> | <i>-0.33</i> | <i>0.12</i> |
| F6 | | | | 1 | <i>-0.49</i> | <i>0.17</i> | 0.69 |
| F3 | | | | | 1 | <i>-0.01</i> | <i>-0.28</i> |
| F4 | | | | | | 1 | <i>-0.08</i> |
| F7 | | | | | | | 1 |

Таблица 12 - Экспериментальные значения статистики z_{expr}

| | F1 | F2 | F5 | F6 | F3 | F4 | F7 |
|----|----|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| F1 | - | <i>-0.28</i> | <i>-0.35</i> | -0.84 | <i>0.67</i> | <i>-0.41</i> | -0.74 |
| F2 | | - | <i>0.54</i> | <i>-0.05</i> | <i>-0.68</i> | <i>-0.35</i> | <i>-0.32</i> |
| F5 | | | - | <i>-0.17</i> | <i>-0.36</i> | <i>-0.36</i> | <i>0.13</i> |
| F6 | | | | - | <i>-0.57</i> | <i>0.18</i> | 0.90 |
| F3 | | | | | - | <i>-0.014</i> | <i>-0.303</i> |
| F4 | | | | | | - | <i>-0.083</i> |
| F7 | | | | | | | - |

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Динамика роста числа газобаллонных автомобилей ГБА до 2023 года

Таблица 1 - Прогноз количества городских грузовых автомобилей на ГМТ (без учёта Программы), шт

| Год | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2014 | 1899 | 1899 | 1899 | 1899 |
| 2015 | 1918 | 1956 | 2013 | 2070 |
| 2016 | 1937 | 2015 | 2134 | 2256 |
| 2017 | 1956 | 2075 | 2262 | 2459 |
| 2018 | 1976 | 2137 | 2397 | 2680 |
| 2019 | 1996 | 2201 | 2541 | 2922 |
| 2020 | 2016 | 2267 | 2694 | 3185 |
| 2021 | 2036 | 2335 | 2855 | 3471 |
| 2022 | 2056 | 2405 | 3027 | 3784 |
| 2023 | 2077 | 2478 | 3208 | 4124 |

Таблица 2 - Прогноз количества транзитных грузовых автомобилей на ГМТ (от общего количества), шт

| Год | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2014 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 2015 | 58 | 59 | 61 | 63 |
| 2016 | 59 | 61 | 65 | 69 |
| 2017 | 67 | 71 | 76 | 82 |
| 2018 | 77 | 82 | 90 | 98 |
| 2019 | 89 | 95 | 106 | 117 |
| 2020 | 102 | 110 | 123 | 137 |
| 2021 | 108 | 117 | 133 | 151 |
| 2022 | 114 | 125 | 143 | 166 |
| 2023 | 120 | 132 | 154 | 182 |

Таблица 3 - Прогноз количества городских автобусов на ГМТ (без учёта Программы), шт

| Год | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2014 | 174 | 174 | 174 | 174 |
| 2015 | 176 | 179 | 184 | 190 |
| 2016 | 177 | 185 | 196 | 207 |
| 2017 | 179 | 190 | 207 | 225 |
| 2018 | 181 | 196 | 220 | 246 |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|-----|-----|-----|-----|
| 2019 | 183 | 202 | 233 | 268 |
| 2020 | 185 | 208 | 247 | 292 |
| 2021 | 187 | 214 | 262 | 318 |
| 2022 | 188 | 220 | 277 | 347 |
| 2023 | 190 | 227 | 294 | 378 |

Таблица 4 - Прогноз количества транзитных автобусов на ГМТ (от общего количества), шт

| Год | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2014 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 2015 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 2016 | 14 | 15 | 15 | 15 |
| 2017 | 19 | 20 | 20 | 21 |
| 2018 | 24 | 25 | 25 | 26 |
| 2019 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| 2020 | 34 | 35 | 36 | 37 |
| 2021 | 38 | 39 | 41 | 42 |
| 2022 | 43 | 44 | 46 | 48 |
| 2023 | 48 | 49 | 51 | 53 |

Таблица 5 - Прогноз количества городских легковых автомобилей на ГМТ (без учёта Программы), шт

| Год | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2014 | 1942 | 1903 | 1844 | 1785 |
| 2015 | 1962 | 1962 | 1962 | 1962 |
| 2016 | 1982 | 2021 | 2080 | 2139 |
| 2017 | 2001 | 2081 | 2205 | 2331 |
| 2018 | 2021 | 2144 | 2337 | 2541 |
| 2019 | 2042 | 2208 | 2477 | 2770 |
| 2020 | 2062 | 2274 | 2626 | 3019 |
| 2021 | 2083 | 2343 | 2783 | 3290 |
| 2022 | 2104 | 2413 | 2950 | 3587 |
| 2023 | 2125 | 2485 | 3127 | 3909 |

Таблица 6 - Прогноз количества транзитных легковых автомобилей на ГМТ (от общего количества), шт

| Год | Рост на 1% в год | Рост на 3% в год | Рост на 6% в год | Рост на 9% в год |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 2014 | 58 | 57 | 55 | 54 |
| 2015 | 59 | 59 | 59 | 59 |
| 2016 | 59 | 61 | 62 | 64 |
| 2017 | 60 | 62 | 66 | 70 |
| 2018 | 61 | 64 | 70 | 76 |
| 2019 | 61 | 66 | 74 | 83 |
| 2020 | 62 | 68 | 79 | 91 |
| 2021 | 62 | 70 | 83 | 99 |
| 2022 | 63 | 72 | 89 | 108 |
| 2023 | 64 | 75 | 94 | 117 |

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Оценка суточного минимального и максимального объёмов потребляемого ГМТ
для каждого вида автотранспорта на ГМТ

Таблица 1 - Суточное потребление ГМТ грузовыми автомобилями, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 1%

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _{гр} , м ³ | |
|------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--|-----------------------|
| | из расчета 100 км/сут | из расчета 150 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 2014 | 66531 | 95044 | 2851 | 69382 | 97895 |
| 2015 | 67615 | 96593 | 2898 | 70513 | 99491 |
| 2016 | 68777 | 98252 | 2948 | 71724 | 101200 |
| 2017 | 78450 | 112071 | 3362 | 81812 | 115433 |
| 2018 | 90054 | 128649 | 3859 | 93914 | 132509 |
| 2019 | 104221 | 148887 | 4467 | 108688 | 153354 |
| 2020 | 119234 | 170335 | 5110 | 124345 | 175445 |
| 2021 | 126170 | 180243 | 5407 | 131577 | 185650 |
| 2022 | 133183 | 190261 | 5708 | 138890 | 195969 |
| 2023 | 140202 | 200289 | 6009 | 146211 | 206298 |

Таблица 2 - Суточное потребление ГМТ грузовыми автомобилями, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 3%

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _{гр} , м ³ | |
|------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--|-----------------------|
| | из расчета 100 км/сут | из расчета 150 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 2014 | 66531 | 95044 | 2851 | 69382 | 97895 |
| 2015 | 68945 | 98492 | 2955 | 71899 | 101447 |
| 2016 | 71488 | 102126 | 3064 | 74552 | 105190 |
| 2017 | 82599 | 117998 | 3540 | 86138 | 121538 |
| 2018 | 95697 | 136710 | 4101 | 99799 | 140812 |
| 2019 | 111416 | 159166 | 4775 | 116191 | 163941 |
| 2020 | 128043 | 182918 | 5488 | 133530 | 188406 |
| 2021 | 136653 | 195219 | 5857 | 142510 | 201076 |
| 2022 | 145406 | 207722 | 6232 | 151637 | 213954 |
| 2023 | 154231 | 220330 | 6610 | 160841 | 226940 |

Таблица 3 - Суточное потребление ГМТ грузовыми автомобилями, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 6%

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _{гр} , м ³ | |
|------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--|-----------------------|
| | из расчета 100 км/сут | из расчета 150 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2014 | 66531 | 95044 | 2851 | 69382 | 97895 |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|--------|--------|------|--------|--------|
| 2015 | 70938 | 101341 | 3040 | 73979 | 104381 |
| 2016 | 75655 | 108079 | 3242 | 78898 | 111321 |
| 2017 | 89131 | 127330 | 3820 | 92951 | 131150 |
| 2018 | 104800 | 149715 | 4491 | 109292 | 154206 |
| 2019 | 123310 | 176156 | 5285 | 128594 | 181441 |
| 2020 | 142961 | 204230 | 6127 | 149088 | 210357 |
| 2021 | 154847 | 221211 | 6636 | 161484 | 227847 |
| 2022 | 167143 | 238776 | 7163 | 174307 | 245940 |
| 2023 | 179799 | 256856 | 7706 | 187505 | 264562 |

Таблица 4 - Суточное потребление ГМТ грузовыми автомобилями, в зависимости от различных сценариев развития (м^3). Прогноз по развитию 9%

| Год | Резиденты, м^3 | | Транзит, м^3 | Итого $v_{\text{гр}}$, м^3 | |
|------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------|
| | из расчета 100 км/сут | из расчета 150 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 2014 | 66531 | 95044 | 2851 | 69382 | 97895 |
| 2015 | 72932 | 104189 | 3126 | 76058 | 107315 |
| 2016 | 79942 | 114203 | 3426 | 83368 | 117629 |
| 2017 | 96044 | 137205 | 4116 | 100160 | 141321 |
| 2018 | 114710 | 163871 | 4916 | 119626 | 168787 |
| 2019 | 136628 | 195183 | 5855 | 142484 | 201039 |
| 2020 | 160146 | 228781 | 6863 | 167010 | 235644 |
| 2021 | 176408 | 252011 | 7560 | 183968 | 259572 |
| 2022 | 193642 | 276632 | 8299 | 201941 | 284931 |
| 2023 | 211861 | 302658 | 9080 | 220941 | 311738 |

Таблица 5 - Суточное потребление ГМТ автобусами, в зависимости от различных сценариев развития (м^3). Прогноз по развитию 1%

| Год | Резиденты, м^3 | | Транзит, м^3 | Итого $v_{\text{авт}}$, м^3 | |
|------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | из расчета 200 км/сут | из расчета 250 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2014 | 12180 | 17400 | 522 | 12702 | 17922 |
| 2015 | 13606 | 19437 | 583 | 14189 | 20020 |
| 2016 | 16747 | 23925 | 718 | 17465 | 24643 |
| 2017 | 22480 | 32114 | 963 | 23443 | 33077 |
| 2018 | 28212 | 40303 | 1209 | 29421 | 41512 |
| 2019 | 33981 | 48544 | 1456 | 35437 | 50000 |
| 2020 | 39750 | 56785 | 1704 | 41453 | 58489 |
| 2021 | 44854 | 64078 | 1922 | 46777 | 66000 |
| 2022 | 50310 | 71871 | 2156 | 52466 | 74027 |
| 2023 | 55836 | 79765 | 2393 | 58228 | 82158 |

Таблица 6 - Суточное потребление ГМТ автобусами, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 3%

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _{авт} , м ³ | |
|------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---|-----------------------|
| | из расчета 200 км/сут | из расчета 250 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 2014 | 12180 | 17400 | 522 | 12702 | 17922 |
| 2015 | 13728 | 19611 | 588 | 14316 | 20199 |
| 2016 | 16996 | 24280 | 728 | 17724 | 25008 |
| 2017 | 22860 | 32657 | 980 | 23839 | 33636 |
| 2018 | 28729 | 41042 | 1231 | 29961 | 42273 |
| 2019 | 34640 | 49486 | 1485 | 36125 | 50970 |
| 2020 | 40557 | 57938 | 1738 | 42295 | 59676 |
| 2021 | 45815 | 65450 | 1963 | 47778 | 67413 |
| 2022 | 51430 | 73471 | 2204 | 53634 | 75675 |
| 2023 | 57121 | 81602 | 2448 | 59569 | 84050 |

Таблица 7 - Суточное потребление ГМТ автобусами, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 6%

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _{авт} , м ³ | |
|------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---|-----------------------|
| | из расчета 200 км/сут | из расчета 250 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 2014 | 12180 | 17400 | 522 | 12702 | 17922 |
| 2015 | 13910 | 19872 | 596 | 14507 | 20468 |
| 2016 | 17378 | 24825 | 745 | 18122 | 25570 |
| 2017 | 23458 | 33512 | 1005 | 24464 | 34517 |
| 2018 | 29563 | 42234 | 1267 | 30830 | 43501 |
| 2019 | 35730 | 51043 | 1531 | 37261 | 52574 |
| 2020 | 41924 | 59891 | 1797 | 43721 | 61688 |
| 2021 | 47482 | 67832 | 2035 | 49517 | 69867 |
| 2022 | 53422 | 76316 | 2289 | 55711 | 78606 |
| 2023 | 59464 | 84948 | 2548 | 62012 | 87497 |

Таблица 8 - Суточное потребление ГМТ автобусами, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 9 %

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _{авт} , м ³ | |
|------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|---|-----------------------|
| | из расчета 200 км/сут | из расчета 250 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 2014 | 12180 | 17400 | 522 | 12702 | 17922 |
| 2015 | 14093 | 20133 | 604 | 14697 | 20737 |
| 2016 | 17771 | 25386 | 762 | 18532 | 26148 |
| 2017 | 24092 | 34417 | 1033 | 25124 | 35449 |
| 2018 | 30472 | 43531 | 1306 | 31777 | 44837 |
| 2019 | 36950 | 52786 | 1584 | 38534 | 54370 |
| 2020 | 43499 | 62141 | 1864 | 45363 | 64005 |
| 2021 | 49458 | 70654 | 2120 | 51577 | 72774 |
| 2022 | 55850 | 79785 | 2394 | 58243 | 82179 |
| 2023 | 62402 | 89145 | 2674 | 65076 | 91820 |

Таблица 9 - Суточное потребление ГМТ легковыми автомобилями, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 1 %

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _в , м ³ | |
|------|---------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | из расчета 50 км/сут | из расчета 60 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 2014 | 9712 | 11654 | 350 | 10062 | 12004 |
| 2015 | 9810 | 11772 | 353 | 10163 | 12125 |
| 2016 | 9908 | 11890 | 357 | 10265 | 12246 |
| 2017 | 10007 | 12009 | 360 | 10367 | 12369 |
| 2018 | 10107 | 12129 | 364 | 10471 | 12493 |
| 2019 | 10208 | 12250 | 367 | 10576 | 12617 |
| 2020 | 10310 | 12372 | 371 | 10682 | 12744 |
| 2021 | 10414 | 12496 | 375 | 10788 | 12871 |
| 2022 | 10518 | 12621 | 379 | 10896 | 13000 |
| 2023 | 10623 | 12747 | 382 | 11005 | 13130 |

Таблица 10 - Суточное потребление ГМТ легковыми автомобилями, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 3 %

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _в , м ³ | |
|------|---------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | из расчета 50 км/сут | из расчета 60 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2014 | 9516 | 11419 | 343 | 9858 | 11761 |
| 2015 | 9810 | 11772 | 353 | 10163 | 12125 |
| 2016 | 10104 | 12125 | 364 | 10468 | 12489 |
| 2017 | 10407 | 12489 | 375 | 10782 | 12864 |
| 2018 | 10720 | 12864 | 386 | 11106 | 13249 |
| 2019 | 11041 | 13249 | 397 | 11439 | 13647 |
| 2020 | 11372 | 13647 | 409 | 11782 | 14056 |
| 2021 | 11714 | 14056 | 422 | 12135 | 14478 |
| 2022 | 12065 | 14478 | 434 | 12499 | 14912 |
| 2023 | 12427 | 14912 | 447 | 12874 | 15360 |

Таблица 11 - Суточное потребление ГМТ легковыми автомобилями, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 6 %

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _в , м ³ | |
|------|---------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | из расчета 50 км/сут | из расчета 60 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2014 | 9221 | 11066 | 332 | 9553 | 11398 |
| 2015 | 9810 | 11772 | 353 | 10163 | 12125 |
| 2016 | 10399 | 12478 | 374 | 10773 | 12853 |
| 2017 | 11023 | 13227 | 397 | 11419 | 13624 |
| 2018 | 11684 | 14021 | 421 | 12104 | 14441 |

Продолжение таблицы 11

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|-------|-------|-----|-------|-------|
| 2019 | 12385 | 14862 | 446 | 12831 | 15308 |
| 2020 | 13128 | 15754 | 473 | 13601 | 16226 |
| 2021 | 13916 | 16699 | 501 | 14417 | 17200 |
| 2022 | 14751 | 17701 | 531 | 15282 | 18232 |
| 2023 | 15636 | 18763 | 563 | 16199 | 19326 |

Таблица 12 - Суточное потребление ГМТ легковыми автомобилями, в зависимости от различных сценариев развития (м³). Прогноз по развитию 9 %

| Год | Резиденты, м ³ | | Транзит, м ³ | Итого v _B , м ³ | |
|------|---------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------|
| | из расчета 50 км/сут | из расчета 60 км/сут | | минимальный объем | максимальный объем |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2014 | 8927 | 10713 | 321 | 9248 | 11034 |
| 2015 | 9810 | 11772 | 353 | 10163 | 12125 |
| 2016 | 10693 | 12831 | 385 | 11078 | 13216 |
| 2017 | 11655 | 13986 | 420 | 12075 | 14406 |
| 2018 | 12704 | 15245 | 457 | 13162 | 15702 |
| 2019 | 13848 | 16617 | 499 | 14346 | 17116 |
| 2020 | 15094 | 18113 | 543 | 15637 | 18656 |
| 2021 | 16452 | 19743 | 592 | 17045 | 20335 |
| 2022 | 17933 | 21520 | 646 | 18579 | 22165 |
| 2023 | 19547 | 23456 | 704 | 20251 | 24160 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Суммарное время, необходимое для заправки общего количества АТ (по категориям)

Таблица 1 - Суммарное время необходимое для заправки всего грузового АТ, час. Прогноз по развитию 1%

| Год | Время T (час) заправки «всех» грузовиков на одной большой АГНКС, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки «всех» грузовиков на одной средней АГНКС, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|------|---|--|---|--|
| 2014 | 48.9 – 81.6 | 3 – 4 | 81.6 – 136.0 | 4 – 6 |
| 2015 | 49.7 – 82.9 | 3 – 4 | 82.9 – 138.2 | 4 – 6 |
| 2016 | 50.6 – 84.3 | 3 – 4 | 84.3 – 140.6 | 4 – 6 |
| 2017 | 57.7 – 96.2 | 3 – 5 | 96.2 – 160.3 | 5 – 7 |
| 2018 | 66.3 – 110.4 | 3 – 5 | 110.4 – 184.0 | 5 – 8 |
| 2019 | 76.7 – 127.8 | 4 – 6 | 127.8 – 213.0 | 6 – 9 |
| 2020 | 87.7 – 146.2 | 4 – 7 | 146.2 – 243.7 | 7 – 11 |
| 2021 | 92.8 – 154.7 | 4 – 7 | 154.7 – 257.8 | 7 – 11 |
| 2022 | 98.0 – 163.3 | 5 – 7 | 163.3 – 272.2 | 7 – 12 |
| 2023 | 103.1 – 171.9 | 5 – 8 | 171.9 – 286.5 | 8 – 12 |

Таблица 2 - Суммарное время необходимое для заправки всего грузового АТ, час. Прогноз по развитию 3%

| Год | Время T (час) заправки «всех» грузовиков на одной большой АГНКС, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки «всех» грузовиков на одной средней АГНКС, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|------|---|--|---|--|
| 2014 | 48.9 – 81.6 | 3 – 4 | 81.6 – 136.0 | 4 – 6 |
| 2015 | 50.7 – 84.5 | 3 – 4 | 84.5 – 140.9 | 4 – 6 |
| 2016 | 52.6 – 87.7 | 3 – 4 | 87.7 – 146.1 | 4 – 7 |
| 2017 | 60.8 – 101.3 | 3 – 5 | 101.3 – 168.8 | 5 – 8 |
| 2018 | 70.4 – 117.3 | 3 – 5 | 117.3 – 195.6 | 5 – 9 |
| 2019 | 82.0 – 136.6 | 4 – 6 | 136.6 – 227.7 | 6 – 10 |
| 2020 | 94.2 – 157.0 | 4 – 7 | 157.0 – 261.7 | 7 – 11 |
| 2021 | 100.5 – 167.6 | 5 – 7 | 167.6 – 279.3 | 7 – 12 |
| 2022 | 107.0 – 178.3 | 5 – 8 | 178.3 – 297.2 | 8 – 13 |
| 2023 | 113.5 – 189.1 | 5 – 8 | 189.1 – 315.2 | 8 – 14 |

Таблица 3 - Суммарное время необходимое для заправки всего грузового АТ, час.
Прогноз по развитию 6%

| Год | Время T (час) заправки «всех» грузовиков на одной большой АГНКС, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | Необходи мое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки «всех» грузовиков на одной средней АГНКС, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | Необходим ое число средних АГНКС, N_T |
|------|--|---|--|---|
| 2014 | 48.9 – 81.6 | 3 – 4 | 81.6 – 136.0 | 4 – 6 |
| 2015 | 52.2 – 87.0 | 3 – 4 | 87.0 – 145.0 | 4 – 7 |
| 2016 | 55.7 – 92.8 | 3 – 4 | 92.8 – 154.6 | 4 – 7 |
| 2017 | 65.6 – 109.3 | 3 – 5 | 109.3 – 182.2 | 5 – 8 |
| 2018 | 77.1 – 128.5 | 4 – 6 | 128.5 – 214.2 | 6 – 9 |
| 2019 | 90.7 – 151.2 | 4 – 7 | 151.2 – 252.0 | 7 – 11 |
| 2020 | 105.2 – 175.3 | 5 – 8 | 175.3 – 292.2 | 8 – 13 |
| 2021 | 113.9 – 189.9 | 5 – 8 | 189.9 – 316.5 | 8 – 14 |
| 2022 | 123.0 – 204.9 | 6 – 9 | 204.9 – 341.6 | 9 – 15 |
| 2023 | 132.3 – 220.5 | 6 – 10 | 220.5 – 367.4 | 10 – 16 |

Таблица 4 - Суммарное время необходимое для заправки всего грузового АТ, час.
Прогноз по развитию 9%

| Год | Время T (час) заправки «всех» грузовиков на одной большой АГНКС, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | Необходи мое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки «всех» грузовиков на одной средней АГНКС, исходя из пробега 100 – 150 (км/сут) | Необходим ое число средних АГНКС, N_T |
|------|--|---|--|---|
| 2014 | 48.9 – 81.6 | 3 – 4 | 81.6 – 136.0 | 4 – 6 |
| 2015 | 53.7 – 89.4 | 3 – 4 | 89.4 – 149.0 | 4 – 7 |
| 2016 | 58.8 – 98.0 | 3 – 5 | 98.0 – 163.4 | 5 – 7 |
| 2017 | 70.7 – 117.8 | 3 – 5 | 117.8 – 196.3 | 5 – 9 |
| 2018 | 84.4 – 140.7 | 4 – 6 | 140.7 – 234.4 | 6 – 10 |
| 2019 | 100.5 – 167.5 | 5 – 7 | 167.5 – 279.2 | 7 – 12 |
| 2020 | 117.8 – 196.4 | 5 – 9 | 196.4 – 327.3 | 9 – 14 |
| 2021 | 129.8 – 216.3 | 6 – 10 | 216.3 – 360.5 | 10 – 16 |
| 2022 | 142.5 – 237.4 | 6 – 10 | 237.4 – 395.7 | 10 – 17 |
| 2023 | 155.9 – 259.8 | 7 – 11 | 259.8 – 433.0 | 11 – 19 |

Таблица 5 - Суммарное время необходимое для заправки всего автобусного парка,
час. Прогноз по развитию 1%

| Год | Время T (час) заправки «всех» автобусов на одной большой АГНКС, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки «всех» автобусов на одной средней АГНКС, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|-----|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Продолжение таблицы 5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|-------------|---|--------------|-------|
| 2014 | 14.9 | 1 | 14.9 – 24.9 | 1 – 2 |
| 2015 | 10.0 – 16.7 | 1 | 16.7 – 27.8 | 1 – 2 |
| 2016 | 12.3 – 20.5 | 1 | 20.5 – 34.2 | 1 – 2 |
| 2017 | 16.5 – 27.6 | 1 | 27.6 – 45.9 | 2 |
| 2018 | 20.8 – 34.6 | 1 | 34.6 – 57.7 | 2 – 3 |
| 2019 | 25.0 – 41.7 | 2 | 41.7 – 69.4 | 2 – 3 |
| 2020 | 29.2 – 48.7 | 2 | 48.7 – 81.2 | 3 – 4 |
| 2021 | 33.0 – 55.0 | 2 | 55.0 – 91.7 | 3 – 4 |
| 2022 | 37.0 – 61.7 | 2 | 61.7 – 102.8 | 3 – 5 |
| 2023 | 41.1 – 68.5 | 2 | 68.5 – 114.1 | 3 – 5 |

Таблица 6 - Суммарное время необходимое для заправки всего автобусного парка, час. Прогноз по развитию 3%

| Год | Время T (час) заправки «всех» автобусов на одной большой АГНКС, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки «всех» автобусов на одной средней АГНКС, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|------|---|---|---|---|
| 2014 | 9.0 – 14.9 | 1 | 14.9 – 24.9 | 1 – 2 |
| 2015 | 10.1 – 16.8 | 1 | 16.8 – 28.1 | 1 – 2 |
| 2016 | 12.5 – 20.8 | 1 | 20.8 – 34.7 | 1 – 2 |
| 2017 | 16.8 – 28.0 | 1 – 2 | 28.0 – 46.7 | 2 |
| 2018 | 21.1 – 35.2 | 1 – 2 | 35.2 – 58.7 | 2 – 3 |
| 2019 | 25.5 – 42.5 | 2 – 3 | 42.5 – 70.8 | 2 – 3 |
| 2020 | 29.8 – 49.7 | 2 – 3 | 49.7 – 82.9 | 3 – 4 |
| 2021 | 33.7 – 56.2 | 2 – 3 | 56.2 – 93.6 | 3 – 4 |
| 2022 | 37.8 – 63.1 | 2 – 3 | 63.1 – 105.1 | 3 – 5 |
| 2023 | 42.0 – 70.0 | 2 – 3 | 70.0 – 116.7 | 3 – 5 |

Таблица 7 - Суммарное время необходимое для заправки всего автобусного парка, час. Прогноз по развитию 6%

| Год | Время T (час) заправки «всех» автобусов на одной большой АГНКС, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки «всех» автобусов на одной средней АГНКС, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|------|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2014 | 9.0 – 14.9 | 1 | 14.9 – 24.9 | 1 – 2 |
| 2015 | 10.2 – 17.1 | 1 | 17.1 – 28.4 | 1 – 2 |
| 2016 | 12.8 – 21.3 | 1 | 21.3 – 35.5 | 1 – 2 |
| 2017 | 17.3 – 28.8 | 1 – 2 | 28.8 – 47.9 | 2 |
| 2018 | 21.8 – 36.3 | 1 – 2 | 36.3 – 60.42 | 2 – 3 |
| 2019 | 26.3 – 43.8 | 2 | 43.8 – 73.0 | 2 – 4 |
| 2020 | 30.8 – 51.4 | 2 – 3 | 51.4 – 85.7 | 3 – 4 |

Продолжение таблицы 7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------|-------------|-------|--------------|-------|
| 2021 | 34.9 – 58.2 | 2 – 3 | 58.2 – 97.0 | 3 – 5 |
| 2022 | 39.3 – 65.5 | 2 – 3 | 65.5 – 109.2 | 3 – 5 |
| 2023 | 43.7 – 72.9 | 2 – 4 | 72.9 – 121.5 | 4 – 6 |

Таблица 8 - Суммарное время необходимое для заправки всего автобусного парка, час. Прогноз по развитию 9%

| Год | Время T (час) заправки «всех» автобусов на одной большой АГНКС, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки «всех» автобусов на одной средней АГНКС, исходя из пробега 200 – 250 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|------|---|---|---|---|
| 2014 | 14.9 | 1 | 14.9 – 24.9 | 1 – 2 |
| 2015 | 10.4 – 17.3 | 1 | 17.3 – 28.8 | 1 – 2 |
| 2016 | 13.1 – 21.8 | 1 | 21.8 – 36.3 | 1 – 2 |
| 2017 | 17.7 – 29.5 | 1 – 2 | 29.5 – 49.2 | 2 – 3 |
| 2018 | 22.4 – 37.4 | 1 – 2 | 37.4 – 62.3 | 2 – 3 |
| 2019 | 27.2 – 45.3 | 2 | 45.3 – 75.5 | 2 – 4 |
| 2020 | 32.0 – 53.3 | 2 – 3 | 53.3 – 88.9 | 3 – 4 |
| 2021 | 36.4 – 60.6 | 2 – 3 | 60.6 – 101.1 | 3 – 5 |
| 2022 | 41.1 – 68.5 | 2 – 3 | 68.5 – 114.1 | 3 – 5 |
| 2023 | 45.9 – 76.5 | 2 – 4 | 76.5 – 127.5 | 4 – 6 |

Таблица 9 - Суммарное время необходимое для заправки легковых автомобилей, час. Прогноз по развитию 1%

| Год | Время T (час) заправки легковых автомобилей на одной большой АГНКС, исходя из пробега 50 – 60 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки легковых автомобилей на одной средней АГНКС, исходя из пробега 50 – 60 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|------|--|---|--|---|
| 2014 | 33.3 – 50.0 | 2 – 3 | 55.6 – 83.4 | 3 – 4 |
| 2015 | 33.7 – 50.5 | 2 – 3 | 56.1 – 84.2 | 3 – 4 |
| 2016 | 34.0 – 51.0 | 2 – 3 | 56.7 – 85.0 | 3 – 4 |
| 2017 | 34.4 – 51.5 | 2 – 3 | 57.3 – 85.9 | 3 – 4 |
| 2018 | 34.7 – 52.1 | 2 – 3 | 57.8 – 86.8 | 3 – 4 |
| 2019 | 35.0 – 52.6 | 2 – 3 | 58.4 – 87.6 | 3 – 4 |
| 2020 | 35.4 – 53.1 | 2 – 3 | 59.0 – 88.5 | 3 – 4 |
| 2021 | 35.8 – 53.6 | 2 – 3 | 59.6 – 89.4 | 3 – 4 |
| 2022 | 36.1 – 54.2 | 2 – 3 | 60.2 – 90.3 | 3 – 4 |
| 2023 | 36.5 – 54.7 | 2 – 3 | 60.8 – 91.2 | 3 – 4 |

Таблица 10 - Суммарное время необходимое для заправки легковых автомобилей, час. Прогноз по развитию 3 %

| Год | Время T (час) заправки легковых автомобилей на одной большой АГНКС, исходя из пробега 50 – 60 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки легковых автомобилей на одной средней АГНКС, исходя из пробега 50 – 60 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|------|--|---|--|---|
| 2014 | 32.7 – 49.0 | 2 – 3 | 54.5 – 81.7 | 3 – 4 |
| 2015 | 33.7 – 50.5 | 2 – 3 | 56.1 – 84.2 | 3 – 4 |
| 2016 | 34.7 – 52.0 | 2 – 3 | 57.8 – 86.7 | 3 – 4 |
| 2017 | 35.7 – 53.6 | 2 – 3 | 59.6 – 89.3 | 3 – 4 |
| 2018 | 36.8 – 55.2 | 2 – 3 | 61.3 – 92.0 | 3 – 4 |
| 2019 | 37.9 – 56.9 | 2 – 3 | 63.2 – 94.8 | 3 – 4 |
| 2020 | 39.0 – 58.6 | 2 – 3 | 65.1 – 97.6 | 3 – 5 |
| 2021 | 40.2 – 60.3 | 2 – 3 | 67.0 – 100.5 | 3 – 5 |
| 2022 | 41.4 – 62.1 | 2 – 3 | 69.0 – 103.6 | 3 – 5 |
| 2023 | 42.7 – 64.0 | 2 – 3 | 71.1 – 106.7 | 3 – 5 |

Таблица 11 - Суммарное время необходимое для заправки легковых автомобилей, час. Прогноз по развитию 6 %

| Год | Время T (час) заправки легковых автомобилей на одной большой АГНКС, исходя из пробега 50 – 60 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки легковых автомобилей на одной средней АГНКС, исходя из пробега 50 – 60 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|------|--|---|--|---|
| 2014 | 31.7 – 47.5 | 2 | 52.8 – 79.2 | 3 – 4 |
| 2015 | 33.7 – 50.5 | 2 – 3 | 56.1 – 84.2 | 3 – 4 |
| 2016 | 35.7 – 53.6 | 2 – 3 | 59.5 – 89.3 | 3 – 4 |
| 2017 | 37.8 – 56.8 | 2 – 3 | 63.1 – 94.6 | 3 – 4 |
| 2018 | 40.1 – 60.2 | 2 – 3 | 66.9 – 100.3 | 3 – 5 |
| 2019 | 42.5 – 63.8 | 2 – 3 | 70.9 – 106.3 | 3 – 5 |
| 2020 | 45.1 – 67.6 | 2 – 3 | 75.1 – 112.7 | 4 – 5 |
| 2021 | 47.8 – 71.7 | 2 – 3 | 79.6 – 119.4 | 4 – 5 |
| 2022 | 50.6 – 76.0 | 3 – 4 | 84.4 – 126.6 | 4 – 6 |
| 2023 | 53.7 – 80.5 | 3 – 4 | 89.5 – 134.2 | 4 – 6 |

Таблица 12 - Суммарное время необходимое для заправки легковых автомобилей, час. Прогноз по развитию 9%

| Год | Время T (час) заправки легковых автомобилей на одной большой АГНКС, исходя из пробега 50 – 60 (км/сут) | Необходимое число больших АГНКС, N_T | Время T (час) заправки легковых автомобилей на одной средней АГНКС, исходя из пробега 50 – 60 (км/сут) | Необходимое число средних АГНКС, N_T |
|-----|---|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| <i>Продолжение таблицы 12</i> | | | | |
|-------------------------------|--------------|-------|---------------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2014 | 30.6 – 46.0 | 2 | 51.1 – 76.6 | 3 – 4 |
| 2015 | 33.7 – 50.5 | 2 – 3 | 56.1 – 84.2 | 3 – 4 |
| 2016 | 36.7 – 55.1 | 2 – 3 | 61.2 – 91.8 | 3 – 4 |
| 2017 | 40.0 – 60.0 | 2 – 3 | 66.7 – 100.0 | 3 – 5 |
| 2018 | 43.6 – 65.4 | 2 – 3 | 72.7 – 109.0 | 4 – 5 |
| 2019 | 47.5 – 71.3 | 2 – 3 | 79.2 – 118.9 | 4 – 5 |
| 2020 | 51.8 – 77.7 | 3 – 4 | 86.4 – 129.6 | 4 – 6 |
| 2021 | 56.5 – 84.7 | 3 – 4 | 94.1 – 141.2 | 4 – 6 |
| 2022 | 61.6 – 92.4 | 3 – 4 | 102.6 – 153.9 | 5 – 7 |
| 2023 | 67.1 – 100.7 | 3 – 5 | 111.9 – 167.8 | 5 – 7 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Координаты сферической и декартовой системы расположения автобусных парков, специализированных автотранспортных предприятий и АГНКС – 1, численность ГБА (N_i) с учётом среднего времени заправки (t , час) - табл.1- 4.

Таблица 1 - Сферические координаты автобусных парков, численность ГБА и среднее время их заправки

| № п. | Наименование предприятия | Широта φ_i град | Долгота ψ_i град | Координата х, км | Координата у, км | N_i , шт. | t , час |
|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|------------------|-------------|-----------|
| ГУП «Пассажир авто транс» | | | | | | | |
| 1 | АП № 1 (произв.№2) | 59.90587 ⁰ | 30.406289 ⁰ | 2755.174 | 1616.858 | 48 | 0.30 |
| 2 | АП № 1 | 59.907711 ⁰ | 30.356038 ⁰ | 2756.439 | 1614.351 | 52 | 0.30 |
| 3 | АП № 2 (головное предприятие) | 60.028366 ⁰ | 30.263273 ⁰ | 2749.017 | 1604.033 | 135 | 0.30 |
| 4 | АП № 5 | 59.859695 ⁰ | 30.261101 ⁰ | 2763.099 | 1612.109 | 79 | 0.30 |
| 5 | АП № 6 | 59.968646 ⁰ | 30.443929 ⁰ | 2748.903 | 1615.606 | 63 | 0.30 |
| 6 | АП № 7 (головное предприятие) | 59.834742 ⁰ | 30.308009 ⁰ | 2763.849 | 1615.581 | 176 | 0.30 |
| 7 | АП №7 (произв. №2) | 59.696681 ⁰ | 30.394329 ⁰ | 2772.853 | 1626.454 | 54 | 0.30 |
| 8 | Колпинский автобусный парк | 59.75293 ⁰ | 30.566683 ⁰ | 2763.297 | 1632.041 | 93 | 0.30 |
| ООО Питеравто | | | | | | | |
| 9 | Филиал Салова | 59.891787 ⁰ | 30.38966 ⁰ | 2756.812 | 1616.743 | 77 | 0.30 |
| 10 | Филиал Энергетиков | 59.962446 ⁰ | 30.441268 ⁰ | 2749.493 | 1615.781 | 84 | 0.30 |
| 11 | Филиал Пушкин | 59.696681 ⁰ | 30.394329 ⁰ | 2772.853 | 1626.454 | 55 | 0.30 |
| 12 | Филиал Колпино | 59.757728 ⁰ | 30.609545 ⁰ | 2761.678 | 1633.873 | 98 | 0.30 |
| 13 | Филиал Петергоф | 59.865291 ⁰ | 29.81418 ⁰ | 2775.123 | 1590.24 | 69 | 0.30 |
| ОАО «Третий парк» | | | | | | | |
| 14 | «Третий парк» | 59.98793 ⁰ | 30.319847 ⁰ | 2750.793 | 1608.712 | 148 | 0.30 |
| | АГНКС - 1 | 59.816384 | 30.326369 | 2764.855 | 1617.358 | | |

Таблица 2 - Декартовы координаты автобусных парков в градусах, секундах и минутах (необходимые для нанесения на карту)

| № п. | Наименование предприятия | Широта | | | Долгота | | |
|----------------------------------|-------------------------------|---------|------------|---------|---------|--------|---------|
| | | Градусы | Мину ты | Секунды | Градусы | Минуты | Секунды |
| ГУП «Пассажир авто транс» | | | | | | | |
| 1 | АП № 1 (произв.№2) | 59 | 54 | 21.132 | 30 | 24 | 22.6404 |
| 2 | АП № 1 | 59 | 54 | 27.7596 | 30 | 21 | 21.7368 |
| 3 | АП № 2 (головное предприятие) | 60 | 1 | 42.1176 | 30 | 15 | 47.7828 |
| 4 | АП № 5 | 59 | 51 | 34.902 | 30 | 15 | 39.9636 |
| 5 | АП № 6 | 59 | 58 | 7.1256 | 30 | 26 | 38.1444 |
| 6 | АП № 7 (головное предприятие) | 59 | 50 | 5.0712 | 30 | 18 | 28.8324 |
| 7 | АП №7 (произв. №2) | 59 | 41 | 48.0516 | 30 | 23 | 39.5844 |
| 8 | Колпинский автобусный парк | 59 | 54 | 21.132 | 30 | 24 | 22.6404 |
| ООО Питеравто | | | | | | | |
| 9 | Филиал Салова | 59 | 53 | 30.4332 | 30 | 23 | 22.776 |
| 10 | Филиал Энергетиков | 59 | 57 | 44.8056 | 30 | 26 | 28.5648 |
| 11 | Филиал Пушкин | 59 | 41 | 48.0516 | 30 | 23 | 39.5844 |
| 12 | Филиал Колпино | 59 | 45 | 27.8208 | 30 | 36 | 34.362 |
| 13 | Филиал Петергоф | 59 | 51 | 55.0476 | 29 | 48 | 51.048 |
| ОАО «Третий парк» | | | | | | | |
| 14 | «Третий парк» | 59 | 59 | 16.548 | 30 | 19 | 11.4492 |

Таблица 3- Сферические координаты специализированных транспортных предприятий и численность ГБА

| № п. | Наименование предприятия | Широта ϕ_i град | Долгота ψ_i град | Координата x , км | Координата y , км | N_i , шт. | t , час |
|------|--------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 15 | Центральная а/к 1 | 59.932103 | 30.345369 | 2754.71365 | 1612.65217 | 97 | 0.20 |
| 16 | Центральная а/к 2 | 59.930539 | 30.382334 | 2753.8025 | 1614.50519 | 86 | 0.20 |
| 17 | Достоевская а/к | 59.912454 | 30.333861 | 2756.66933 | 1613.05371 | 78 | 0.20 |
| 18 | Суворовская а/к | 59.926977 | 30.381481 | 2754.12223 | 1614.63755 | 89 | 0.20 |
| 19 | Дворцовая а/к | 59.912454 | 30.333861 | 2756.66933 | 1613.05371 | 123 | 0.20 |
| 20 | Кременчугская а/к | 59.928429 | 30.380017 | 2754.04295 | 1614.49651 | 85 | 0.20 |
| 21 | Адмиралтейская а/к | 59.899929 | 30.294973 | 2758.80395 | 1611.79018 | 96 | 0.20 |
| 22 | Василеостровская а/к | 59.93873 | 30.246491 | 2756.94165 | 1607.57459 | 73 | 0.20 |
| 23 | Гаванская а/к | 59.933275 | 30.223908 | 2758.02866 | 1606.75208 | 68 | 0.20 |
| 24 | Октябрьская а/к | 59.949496 | 30.253453 | 2755.85126 | 1607.38753 | 76 | 0.20 |
| 25 | Каменноостровская а/к | 59.969304 | 30.291578 | 2753.13472 | 1608.2592 | 89 | 0.20 |
| 26 | Петроградская а/к | 59.969304 | 30.291578 | 2753.13472 | 1608.2592 | 67 | 0.20 |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|------------------|-----------|-----------|------------|------------|-----|------|
| 27 | Московская а/к | 59.891137 | 30.308448 | 2759.15497 | 1612.86577 | 93 | 0.20 |
| 28 | Рощинская а/к | 59.878527 | 30.339 | 2759.34134 | 1614.94947 | 78 | 0.20 |
| 29 | Южная а/к | 59.821046 | 30.303328 | 2765.11799 | 1616.01995 | 67 | 0.20 |
| 30 | Пулковская а/к | 59.830499 | 30.357541 | 2762.80357 | 1618.17632 | 91 | 0.20 |
| 31 | Невская а/к | 59.857961 | 30.448388 | 2757.95813 | 1621.21689 | 85 | 0.20 |
| 32 | 2 луч а/к | 59.906499 | 30.398324 | 2755.34692 | 1616.4441 | 74 | 0.20 |
| 33 | Купчинская а/к | 59.862438 | 30.423962 | 2758.2778 | 1619.82298 | 67 | 0.20 |
| 34 | Фрунзенская а/к | 59.887747 | 30.379487 | 2757.43442 | 1616.45042 | 73 | 0.20 |
| 35 | Лиговская а/к | 59.900917 | 30.348728 | 2757.20853 | 1614.32976 | 67 | 0.20 |
| 36 | Транспортная а/к | 59.93873 | 30.246491 | 2756.94165 | 1607.57459 | 207 | 0.20 |

Таблица 4 – Декартовы координаты (в градусах, минутах и секундах) специализированных транспортных предприятий и численность ГБА, необходимые для нанесения на карту

| № п. | Наименование предприятия | Широта | | | Долгота | | |
|------|--------------------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | | Градусы | Минуты | Секунды | Градусы | Минуты | Секунды |
| 15 | Центральная а/к 1 | 59 | 55 | 55.5708 | 30 | 20 | 43.3284 |
| 16 | Центральная а/к 2 | 59 | 55 | 49.9404 | 30 | 22 | 56.4024 |
| 17 | Достоевская а/к | 59 | 54 | 44.8344 | 30 | 20 | 1.8996 |
| 18 | Суворовская а/к | 59 | 55 | 37.1172 | 30 | 22 | 53.3316 |
| 19 | Дворцовая а/к | 59 | 54 | 44.8344 | 30 | 20 | 1.8996 |
| 20 | Кременчугская а/к | 59 | 55 | 42.3444 | 30 | 22 | 48.0612 |
| 21 | Адмиралтейская а/к | 59 | 53 | 59.7444 | 30 | 17 | 41.9028 |
| 22 | Василеостровская а/к | 59 | 56 | 19.428 | 30 | 14 | 47.3676 |
| 23 | Гаванская а/к | 59 | 55 | 59.79 | 30 | 13 | 26.0688 |
| 24 | Октябрьская а/к | 59 | 56 | 58.1856 | 30 | 15 | 12.4308 |
| 25 | Каменноостровская а/к | 59 | 58 | 9.4944 | 30 | 17 | 29.6808 |
| 26 | Петроградская а/к | 59 | 58 | 9.4944 | 30 | 17 | 29.6808 |
| 27 | Московская а/к | 59 | 53 | 28.0932 | 30 | 18 | 30.4128 |
| 28 | Рощинская а/к | 59 | 52 | 42.6972 | 30 | 20 | 20.4 |
| 29 | Южная а/к | 59 | 49 | 15.7656 | 30 | 18 | 11.9808 |
| 30 | Пулковская а/к | 59 | 49 | 49.7964 | 30 | 21 | 27.1476 |
| 31 | Невская а/к | 59 | 51 | 28.6596 | 30 | 26 | 54.1968 |
| 32 | 2-й луч а/к | 59 | 54 | 23.3964 | 30 | 23 | 53.9664 |
| 33 | Купчинская а/к | 59 | 51 | 44.7768 | 30 | 25 | 26.2632 |
| 34 | Фрунзенская а/к | 59 | 53 | 15.8892 | 30 | 22 | 46.1532 |
| 35 | Лиговская а/к | 59 | 54 | 3.3012 | 30 | 20 | 55.4208 |
| 36 | Транспортная а/к | 59 | 56 | 19.428 | 30 | 14 | 47.3676 |

Таблица 5 - Сферические координаты районов Санкт – Петербурга

| № п. | Наименование районов СПб | Широта φ_i град | Долгота ψ_i град | Координата x, км | Координата y, км | N_i , шт. | t , час |
|------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|------------------|-------------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 37 | Выборгский | 60.086515 | 30.229019 | 2745.13402 | 1599.56801 | 537 | 0.190 |
| 38 | Калининский | 60.003642 | 30.39527 | 2747.36784 | 1611.56628 | 512 | 0.188 |

Продолжение таблицы 5

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|-----------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|-----|-------|
| 39 | Кировский | 59.86832 | 30.266784 | 2762.22248 | 1611.96508 | 412 | 0.192 |
| 40 | Петродворцовый - Ломоносовский | 59.876576 | 29.873627 | 2772.52998 | 1592.57774 | 137 | 0.213 |
| 41 | Красносельский | 59.790779 | 30.121814 | 2772.73979 | 1608.71173 | 388 | 0.187 |
| 42 | Московский | 59.824 | 30.307253 | 2764.76213 | 1616.06608 | 425 | 0.197 |
| 43 | Колпинский | 59.775082 | 30.595792 | 2760.63532 | 1632.36153 | 198 | 0.189 |
| 44 | Пушкинский - Павловский | 59.743236 | 30.425391 | 2768.11578 | 1625.69327 | 194 | 0.192 |
| 45 | Невский | 59.881932 | 30.464602 | 2755.51219 | 1620.82848 | 573 | 0.190 |
| 46 | Красногвардейский | 59.97255 | 30.461943 | 2748.07115 | 1616.27991 | 426 | 0.194 |
| 47 | Адмиралтейский | 59.916699 | 30.297372 | 2757.34341 | 1611.09174 | 215 | 0.195 |
| 48 | Приморский | 60.017715 | 30.185145 | 2752.088 | 1600.79838 | 589 | 0.193 |
| 49 | Курортный | 60.09307 | 30.007351 | 2750.75481 | 1588.61962 | 72 | 0.192 |
| 50 | Василеостровский | 59.9422 | 30.243877 | 2756.72649 | 1607.2806 | 240 | 0.191 |
| 51 | Петроградский | 59.966381 | 30.28458 | 2753.57411 | 1608.06483 | 165 | 0.194 |
| 52 | Кронштадский | 60.013056 | 29.714374 | 2765.53764 | 1578.35448 | 45 | 0.188 |
| 53 | Фрунзенский | 59.861928 | 30.394866 | 2759.14232 | 1618.44687 | 467 | 0.192 |
| 54 | Центральный | 59.935615 | 30.361503 | 2753.96782 | 1613.25698 | 336 | 0.196 |

Таблица 6 - Декартовы координаты районов Санкт – Петербурга в градусах, минутах и секундах (необходимые для нанесения на карту)

| № п. | Наименование района СПб | Широта | | | Долгота | | |
|------|-----------------------------------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
| | | Градусы | Минуты | Секунды | Градусы | Минуты | Секунды |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 37 | Выборгский | 60 | 5 | 11.454 | 30 | 13 | 44.4684 |
| 38 | Калининский | 60 | 0 | 13.1112 | 30 | 23 | 42.972 |
| 39 | Кировский | 59 | 52 | 5.952 | 30 | 16 | 0.4224 |
| 40 | Петродворцовый - Ломоносовский | 59 | 52 | 35.6736 | 29 | 52 | 25.0572 |
| 41 | Красносельский | 59 | 47 | 26.8044 | 30 | 7 | 18.5304 |
| 42 | Московский | 59 | 49 | 26.4 | 30 | 18 | 26.1108 |
| 43 | Колпинский | 59 | 46 | 30.2952 | 30 | 35 | 44.8512 |
| 44 | Пушкинский - Павловский | 59 | 44 | 35.6496 | 30 | 25 | 31.4076 |
| 45 | Невский | 59 | 52 | 54.9552 | 30 | 27 | 52.5672 |
| 46 | Красногвардейский | 59 | 58 | 21.18 | 30 | 27 | 42.9948 |
| 47 | Адмиралтейский | 59 | 55 | 0.1164 | 30 | 17 | 50.5392 |
| 48 | Приморский | 60 | 1 | 3.774 | 30 | 11 | 6.522 |
| 49 | Курортный | 60 | 5 | 35.052 | 30 | 0 | 26.4636 |
| 50 | Василеостровский | 59 | 56 | 31.92 | 30 | 14 | 37.9572 |
| 51 | Петроградский | 59 | 57 | 58.9716 | 30 | 17 | 4.488 |
| 52 | Кронштадский | 60 | 0 | 47.0016 | 29 | 42 | 51.7464 |
| 53 | Фрунзенский | 59 | 51 | 42.9408 | 30 | 23 | 41.5176 |
| 54 | Центральный | 59 | 56 | 8.214 | 30 | 21 | 41.4108 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

Таблица 1 – Перечень нормативно – технической документации, которая должна находиться на АГНКС

| № п/п | Документ | Кем утверждён и когда | Место и год издания |
|-------|---|---|-----------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Правила безопасности в газовом хозяйстве. ПБ 12-245-98 | Госгортехнадзор РФ | М. НПО ОБТ ПБ 1998 г. |
| 2. | Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. ПБ 10-115-96 | Госгортехнадзор РФ | М. НПО ОБТ ПБ 1996 г. |
| 3. | Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов. ПБ 10-14-92 | Госгортехнадзор РФ | М. НПО ОБТ ПБ 2000 г. |
| 4. | Правила устройства и безопасной эксплуатации компрессорных установок с поршневыми компрессорами, работающими на взрывоопасных и вредных газах. ПБ 09-297-99 | Госгортехнадзор РФ | М. НПО ОБТ ПБ 2000 г. |
| 5. | Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов | Госгортехнадзор РФ | М. НПО ОБТ ПБ 1993 г. |
| 6. | Правила безопасности при эксплуатации средств и систем автоматизации и управления в газовой промышленности. | ОАО «Газпром» Утверждены 29.03.1990 | |
| 7. | Правила устройства, монтажа и безопасной эксплуатации взрывозащищённых вентиляторов ПУМБЭ – 85 | Госэнергонадзор СССР 11.4.1985 г. | М. Недра, 1986 г. |
| 8. | Правила эксплуатации электроустановок потребителей. ПЭЭП – 92 | Главгосэнергонадзор РФ 31.3.92 г. | ЗАО «Энергосервис» 1997 г. |
| 9. | РД 153-34.0-03.150-00 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок | Минтруда РФ 05.01.2001 | |
| 10. | Правила безопасности при работе с инструментом и приспособлениями. | ПО «Союзтехэнерго» | М., Энергоатомиздат 1986 г. |
| 11. | Правила пожарной безопасности для предприятий и организаций газовой промышленности. ВППБ 01-04-98 | Минтопэнерго РФ | ИРЦ «Газпром» 1998г. |
| 12. | Инструкция по составлению планов ликвидации аварий. | Госгортехнадзор СССР 28.11.1967 г. | М., Химия 1971 г. |
| 13. | Положение о расследовании и учету несчастных случаев на производстве, утвержденное постановлением Президиума ВЦСПС и Госпроматомнадзором СССР № 8-12 | Госпроматомнадзор СССР 17.8.1989 г. | |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|--|------------------------------------|-------------------|
| 14. | Типовая инструкция по безопасному ведению огневых работ на газовых объектах ОАО «Газпром». | ВНИИГАЗ | |
| 15. | Типовая инструкция по организации безопасного проведения газоопасных работ. | Госгортехнадзор СССР 20.02.1985 г. | М., Недра 1986 г. |
| 16. | Правила технической эксплуатации автомобильных газонаполнительных компрессорных станций | ОАО «Газпром» | |
| 17. | Технологический регламент на проведение ППР соответствующей АГНКС. | ОАО «Газпром» | |
| 18. | Технологический регламент по заправке автомобилей сжатым природным газом на соответствующей АГНКС. | ОАО «Газпром» | |

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж
(обязательное)

Таблица 1 – Техническая документация, используемая при эксплуатации АГНКС

| № п/п | Наименование документации | Срок действия | Примечание |
|---------------------------------------|---|---------------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1. | Проектная документация АГНКС | постоянно | |
| 2. | Технико-эксплуатационная документация на технологическую систему АГНКС | постоянно | |
| 3. | Акт приемочной комиссии по приемке АГНКС в эксплуатацию | постоянно | |
| 4. | Генеральный план АГНКС | постоянно | |
| 5. | Паспорт здания АГНКС | постоянно | |
| Перечни, инструкции, положения | | | |
| 1. | Перечень газоопасных работ на АГНКС | 3 года | |
| 2. | Перечень огневых работ на АГНКС | 3 года | |
| 3. | Перечень средств пожаротушения на АГНКС | 3 года | |
| 4. | Перечень инструкций по профессиям и видам работ | 3 года | |
| 5. | Перечень инструкций по эксплуатации оборудования АГНКС | 3 года | |
| 6. | Перечень СИЗ | 3 года | |
| 7. | Должностные инструкции. | 3 года | |
| 8. | Инструкции по эксплуатации оборудования АГНКС | 3 года | |
| 9. | Инструкции по профессиям и видам работ | 3 года | |
| 10. | Инструкция о мерах противопожарной безопасности (Приложение № 3) согласно требованиям ППБ 01-93 согласованная с государственной противопожарной службой | 3 года | |
| Паспорта, формуляры | | | |
| 1. | Паспорта на оборудование АГНКС, приборы, заводские инструкции | постоянно | |
| 2. | Паспорта, сертификаты на применяемые масла, антифризы и результаты их лабораторного анализа | постоянно | |
| 3. | Паспорта на сосуды, работающие под давлением | постоянно | |
| 4. | Паспорта на грузоподъемные механизмы | постоянно | |
| 5. | Паспорта на газопроводы | постоянно | |
| 6. | Формуляры на оборудование АГНКС | постоянно | |
| Схемы | | | |
| 1. | Принципиальная технологическая схема АГНКС | 3 года | |
| 2. | Схема отопления АГНКС | 3 года | |
| 3. | Схема вентиляции АГНКС и пожарного водоснабжения | 3 года | |
| 4. | Принципиальная электрическая схема АГНКС | 3 года | |
| 5. | Схема молниезащиты и заземления | 3 года | |
| 6. | Схема обвязки СКУ | 3 года | |
| 7. | Схема системы охлаждения КУ | 3 года | |
| 8. | Схема системы сжатого воздуха питания КИПиА | 3 года | |
| 9. | Схема строповки грузов | постоянно | |
| 10. | Схема эвакуации людей и автотранспорта при пожаре | 3 года | |

| <i>Продолжение таблицы 1</i> | | | |
|------------------------------|---|-----------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 11. | Маршрутная карта машинистов КУ АГНКС при приемке смены | 3 года | |
| Планы, программы | | | |
| 1. | План ликвидации возможных аварий на АГНКС | 1 год | |
| 2. | График проведения противоаварийных тренировок на АГНКС | 1 год | |
| 3. | Программы инструктажа на рабочем месте и проверки знаний работников АГНКС | 1 год | |
| 4. | Программы целевого обучения профессиям рабочих АГНКС | 3 года | |
| 5. | График проверки знаний работников АГНКС | 1 год | |
| 6. | Карточки регистрации инструктажа на рабочем месте | постоянно | |
| 7. | График ППР технологического оборудования | 1 год | |
| 8. | График ППР КИПиА АГНКС | 1 год | |
| Акты, протоколы | | | |
| 1. | Документация по генеральной ревизии | постоянно | |
| 2. | Протоколы результатов толщинометрии газопроводов, сосудов, аппаратов | постоянно | |
| 3. | Протоколы результатов виброобследования СКУ, аппаратов, газопроводов | постоянно | |
| 4. | Протоколы замеров сопротивления изоляции электрооборудования | постоянно | |
| 5. | Протоколы проверки сопротивления контуров заземления | постоянно | |
| 6. | Протоколы проверки знаний работников АГНКС | постоянно | |
| 7. | Акты отказов и вывода из ремонта оборудования АГНКС | постоянно | |
| 8. | Акты ревизии оборудования АГНКС | постоянно | |
| 9. | Акты проверок аварийного отключения АГНКС | постоянно | |
| 10. | Акты настройки и ревизии предохранит. клапанов | постоянно | |
| 11. | Акты гидравлических испытаний заправочных шлангов АГНКС и колонок | постоянно | |
| 12. | Акт обследования АГНКС по третьему уровню административно-производственного контроля за состоянием охраны труда и промышленной безопасности | | |
| Журналы | | | |
| 1. | Журнал учета выполнения ППР технологического оборудования | постоянно | |
| 2. | Журнал учета выполнения ППР КИПиА АГНКС | постоянно | |
| 3. | Журнал приема-сдачи смен АГНКС | постоянно | |
| 4. | Сменный журнал работы основного и вспомогательного оборудования | постоянно | |
| 5. | Эксплуатационные журналы СКУ | постоянно | |
| 6. | Эксплуатационный журнал УОГ | постоянно | |
| 7. | Сменный журнал учета заправки газом автотранспорта | постоянно | |
| 8. | Журнал проверки исправностей систем аварийной вентиляции | постоянно | |
| 9. | Журнал ежесменного осмотра сосудов, работающих под давлением | постоянно | |
| 10. | Журнал осмотра и проверок противопожарного оборудования | постоянно | |

| <i>Окончание таблицы 1</i> | | | |
|----------------------------|---|-----------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 11. | Журнал регистрации осмотров состояния зданий и сооружений | постоянно | |
| 12. | Журнал ежесменного технического обслуживания газопроводов и технологического оборудования | постоянно | |
| 13. | Журнал проверки технического состояния ГЗК и заправочных шлангов | постоянно | |
| 14. | Журнал профилактических осмотров и ремонтов оборудования | постоянно | |
| 15. | Журнал проверки помещений на загазованность | постоянно | |
| 16. | Журнал учета проверок СИЗ | постоянно | |
| 17. | Журнал регистрации выдачи нарядов-допусков на проведение газоопасных, огневых работ | постоянно | |
| 18. | Наряды-допуски на огневые, газоопасные работы. Закрытые | 3 месяца | |
| 19. | Журнал учета газоопасных работ, проводимых без наряда-допуска | постоянно | |
| 20. | Журнал установки и снятия заглушек | постоянно | |
| 21. | Журнал проверки КИП | постоянно | |
| 22. | Журнал осмотра и проверки грузозахватных приспособлений | постоянно | |
| 23. | Журнал распоряжений | постоянно | |
| 24. | Журнал регистрации мероприятий проводимых по охране труда (ОТ) | постоянно | |
| 25. | Журнал по охране труда на АГНКС | постоянно | |
| 26. | Журнал регистрации инструктажа на рабочем месте | постоянно | |
| 27. | Журнал учета противоаварийных тренировок | постоянно | |

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель председателя
Комитета по транспорту



О.А.Матвеев

Дата "12" 02 2018 г.

АКТ

о внедрении (использовании) результатов
кандидатской диссертационной работы
ВЕЛЬНИКОВСКОГО АНАТОЛИЯ АНАТОЛЬЕВИЧА, аспиранта СПбГАСУ

Главный специалист Отдела закупок и технической политики Комитета по транспорту А.А.Коннов составил настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Методика формирования инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в крупных городах (на примере Санкт – Петербурга)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, планируются к использованию в деятельности Комитета по транспорту.

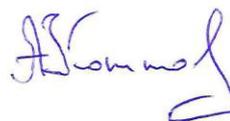
Комитет по транспорту в соответствии с постановлением Правительства Санкт-Петербурга от 24.02.2004 №226 «О Комитете по транспорту» является исполнительным органом государственной власти Санкт-Петербурга, проводит государственную политику Санкт-Петербурга в сфере городского и пригородного транспорта, внешнего транспорта (кроме грузового автомобильного транспорта), а также междугородного и международного пассажирского автомобильного транспорта и координирует деятельность иных исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга в данной сфере.

Комитет по транспорту является разработчиком и основным координатором реализации Программы внедрения газомоторного топлива в автотранспортном комплексе Санкт-Петербурга на 2014-2023 годы, утвержденной в соответствии с распоряжением Правительства Санкт-Петербурга от 25.08.2014 № 52-рп (далее – Программа).

В целях расширения использования природного газа (метана) в качестве моторного топлива в Санкт-Петербурге в соответствии с Программой предусмотрено приобретение газомоторной автомобильной техники, реконструкция производственных зон обслуживания указанной автомобильной техники, а также строительство в Санкт-Петербурге газозаправочной инфраструктуры (Автомобильные газонаполнительные компрессорные станции - АГНКС).

Результаты вычислительного эксперимента в виде имитационного моделирования инфраструктуры АГНКС, полученных её географических моделей, представленного прогноза газомоторного рынка, строительства и ввода в эксплуатацию сети заправочных станций, создадут условия для обоснованного планирования развития газозаправочной инфраструктуры с учетом территориального фактора и синхронизации сроков ввода в эксплуатацию инфраструктуры и газомоторной автомобильной техники.

Главный специалист Отдела закупок
и технической политики
Комитета по транспорту



А.А.Коннов

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер
Северо-Западного филиала
ООО «Газпром газомоторное топливо»

И. Н. Усов
Дата «16» января 2018



**АКТ
о внедрении результатов
диссертационной работы**

**Вельниковского Анатолия Анатольевича, аспиранта СПбГАСУ на тему:
«Методика формирования инфраструктуры автомобильных газонаполнительных
компрессорных станций в крупных городах (на примере Санкт-Петербурга)»**

ООО «Газпром газомоторное топливо» - единый оператор по развитию рынка газомоторного топлива РФ. Стратегическая цель компании - расширение использования природного газа на транспорте.

Деятельность компании направлена на создание комфортных условий по переводу транспорта на природный газ путём расширения сети АГНКС и строительство новой производственно-сбытовой инфраструктуры.

ООО «Газпром газомоторное топливо» принимает активное участие в реализации «Программы внедрения ГМТ в автотранспортном комплексе Санкт - Петербурга на 2014 - 2023 г.г.». В наибольшей степени это касается строительства и ввода в строй АГНКС.

В аспекте изложенного, комиссия ООО «Газпром газомоторное топливо» в составе:

1. Начальника Производственно-технического отдела Северо-Западного филиала ООО «Газпром газомоторное топливо» Курсанова Ивана Николаевича;
2. Заместителя начальника Производственно-технического отдела Северо-Западного филиала ООО «Газпром газомоторное топливо» Момотова Василия Васильевича;
3. Руководителя группы КИПиА и метрологии Производственно-технического отдела Северо-Западного филиала ООО «Газпром газомоторное топливо» Антипина Сергея Викторовича

составили настоящий акт о том, что разработанные в диссертационном исследовании Вельниковского А.А. предложения для формирования инфраструктуры АГНКС СПб в части касающиеся:

1. прогнозирования развития газомоторного рынка Санкт - Петербурга до 2023 г, что даёт возможность оценить потребности потребителей в ГМТ;
2. предложенной методики определения альтернативного числа АГНКС, исходя из их параметрических характеристик, что позволяет рассчитать оптимальное количество станций заправки и динамику ввода их в строй, с учётом рациональных объёмов инвестиционных вложений в их строительство;
3. вычислительного эксперимента в виде имитационного моделирования инфраструктуры АГНКС СПб, создания её трёхвариантной интерактивной математической модели, алгоритмов формирования, а также географической модели, что позволило изучить взаимодействие её элементов, воздействие на них внешних факторов и дало наглядное пространственное представление об особенностях её функционирования;
4. рекомендованной методики по формированию оптимальной инфраструктуры АГНКС Санкт - Петербурга, которая может быть распространена для реализации аналогичных задач в другие регионы РФ

использованы в деятельности предприятия ООО «Газпром газомоторное топливо».

Результаты диссертационной работы направлены на реализацию стратегической цели предприятия по расширению использования природного газа на транспорте и сети АГНКС, что позволит повысить эффективность проектирования и строительства производственно-сбытовой инфраструктуры и сократить материальные затраты предприятия.

Члены комиссии:

И. Н. Курсанов
В.В. Момотов
С.В. Антипин

УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер – заместитель
 генерального директора
 СПб ГУП «Пассажиравтотранс»

Дата « 15 » 2018 г.

АКТ

о внедрении (использовании) результатов
 кандидатской диссертационной работы
ВЕЛЬНИКОВСКОГО АНАТОЛИЯ АНАТОЛЬЕВИЧА, аспиранта СПбГАСУ

Представители СПб ГУП «Пассажиравтотранс» в составе: Начальник производственно-технического управления Мягков И.А, Заместитель начальника производственно-технического управления Мишанов М.А. составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Методика формирования инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций в крупных городах (на примере Санкт – Петербурга)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, планируются к использованию в деятельности СПб ГУП «Пассажиравтотранс».

Санкт – Петербургское государственное унитарное предприятие пассажирского автомобильного транспорта (СПб ГУП «Пассажиравтотранс») является одним из крупнейших пассажирских перевозчиков Северо – Западного региона России, было выбрано в качестве стартовой площадки для реализации «Программы внедрения ГМТ в автотранспортном комплексе СПб на 2014 – 2023 годы» и стало первым перевозчиком, использующим автобусы на сжатом природном газе (метане).

Основными направлениями программы развития предприятия являются: повышение качества транспортного обслуживания населения; расширение зоны транспортного обслуживания; обновление парка подвижного состава; энергосбережение и сокращение экологической нагрузки от деятельности предприятия. Подвижной состав является площадкой для реализации инициатив, важных для транспортной отрасли и внедрения новых технологий.

В данном аспекте, результаты вычислительного эксперимента в виде имитационного моделирования инфраструктуры АГНКС СПб, полученной её географической модели, представленного прогноза газомоторного рынка, строительства и ввода в эксплуатацию сети заправочных станций, во – первых, позволят обеспечить эффективную эксплуатацию транспорта предприятия, минимизировать плечи заправок автобусов, что снизит их непроизводительные пробеги, и связанные с этим временные и материальные затраты, а во-вторых будут способствовать поэтапному переводу работы подвижного состава на газомоторное топливо.

Представители СПб ГУП «Пассажиравтотранс»:

Начальник
 производственно-технического управления

Мягков И.А.

Заместитель начальника
 производственно-технического управления

Мишанов М.А.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»
(СПбГАСУ)

2-я Красноармейская ул., 4, Санкт-Петербург, 190005. Тел: (812) 400-06-67. Факс: (812) 316-58-72. E-mail: rector @ spbgasu.ru
ИНН 7809011023 / КПП 783901001, ОКПО 02068580, ОКВЭД 85.22

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный архитектурно-
строительный университет»

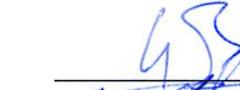

_____ Головина С.Г.
« 11 » _____ 2018 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Вельниковского Анатолия Анатольевича
«МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ
(НА ПРИМЕРЕ САНКТ – ПЕТЕРБУРГА)»
в учебный процесс

Мы, нижеподписавшиеся,
заведующий кафедрой «Технической эксплуатации транспортных средств»,
к. т. н., доцент Черняев И.О, д.т.н., доцент Плотников А.М и к.т.н., доцент
Торосян Л.Е., составили настоящий акт о том, что результаты
диссертационной работы соискателя Вельниковского А.А. внедрены в
учебный процесс по направлению подготовки кадров высшей квалификации
23.06.01 «Техника и технологии наземного транспорта» (научная
специальность 05.22.10 «Эксплуатация наземного транспорта») на кафедре
«Технической эксплуатации транспортных средств» и в лекционный
материал по подготовке бакалавров по направлению 23.03.03 – Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов.

Заведующий кафедрой ТЭТС
Д.т.н., доцент
К.т.н., доцент

 /Черняев И.О./
 /Плотников А.М./
 /Торосян Л.Е./