
ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

УДК 656.065.36:625.7/.8(470.56)

EDN: DUHSRI



**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ИНФРАСТРУКТУРЫ АВТОГАЗОЗАПРАВОЧНОГО
КОМПЛЕКСА**

Сергей Викторович Горбачёв¹

ORCID ID: 0000-0001-9093-9713

Сергей Александрович Дергунов¹

Дмитрий Алексеевич Дрючин¹✉

ORCID ID: 0000-0002-1311-6462

Андрей Александрович Филиппов²

ORCID ID: 0000-0002-8957-9762

¹Оренбургский государственный университет,
г. Оренбург, Россия

²ООО «Газпром переработка»,
Санкт-Петербург, Россия

¹dmi-dryuchin@yandex.ru✉

Аннотация: Рассмотрен накопленный опыт в развитии рынка газомоторного топлива. Проанализированы процессы и факторы, препятствующие реализации государственных программных решений по расширению области применения газомоторного топлива, в частности инфраструктуры газозаправочных станций.

Для определения мер по совершенствованию инфраструктуры газозаправочных станций проведен анализ технологий обеспечения потребителей газомоторным топливом, методов расчета параметров технологического оборудования и методов определения мест размещения объектов обслуживания.

На основе анализа существующих проблем сформулирована цель научной работы – повышение эффективности функционирования автомобильного транспорта на основе совершенствования газозаправочного комплекса.

С учетом выявленных требований по обеспечению territori-

ального покрытия сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), создана математическая модель. Разработан «Итерационно-последовательный подход при строительстве сети АГНКС», определены дополнительные условия к алгоритму, что в целом составляет методику определения структурных параметров дорожного автогазозаправочного комплекса.

В результате исследования были проведены расчеты по определению характеристик и мест расположения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций на территории административных районов Оренбургской области, прилегающих к автомобильной дороге Оренбург-Самара.

Ключевые слова: газомоторное топливо, транспортная инфраструктура, автомобильный транспорт, эффективность эксплуатации автомобилей, заправочные станции, доступность заправочных пунктов, дорожная сеть.

Для цитирования: Горбачёв С.В., Дергунов С.А., Дрючин Д.А., Филиппов А.А. Методика определения параметров инфраструктуры автогазозаправочного комплекса // Дороги и мосты. – 2024. – №51/1. – С. 268-290.

ENVIRONMENTAL PROTECTION

Original article

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF THE INFRASTRUCTURE OF AN AUTOGAS REFUELING COMPLEX

Sergey V. Gorbachev¹

ORCID ID: 0000-0001-9093-9713

Sergey A. Dergunov¹

Dmitry A. Druchin¹✉

ORCID ID: 0000-0002-1311-6462

Andrey A. Filippov²

ORCID ID: 0000-0002-8957-9762

¹Orenburg State University,
Orenburg, Russia

²Gazprom Pererabotka LLC,
St. Petersburg, Russia

¹dmi-dryuchin@yandex.ru✉

Abstract: *The accumulated experience in the development of the natural gas vehicle (NGV) fuel market is considered. The processes and factors hindering the implementation of state program decisions to expand the scope of NGV fuel application, in particular, the infrastructure of gas filling stations are analyzed.*

In order to determine measures to improve the infrastructure of gas filling stations, the technologies of providing consumers with NGV fuel, methods of calculating the parameters of technological equipment and methods of determining the location of service facilities were analyzed.

On the basis of the analysis of existing problems the purpose of scientific work is formulated – to increase the efficiency of automobile transport functioning on the basis of gas-fueling complex improvement.

Accordingly to the revealed requirements to ensure territorial coverage of the network of automobile gas filling compression stations (AGNKS), a mathematical model has been created. The «Iterative-sequential approach to the construction of a network of AGNKS» has been developed, additional conditions to the algorithm have been determined, which as a whole constitutes a methodology for determining the structural parameters of the road gas filling stations.

As a result of the study, calculations have been made to determine the characteristics and locations of automobile gas-filling compressor stations in the administrative districts of the Orenburg region adjacent to the Orenburg-Samara highway.

Keywords: *natural gas vehicle (NGV) fuel, transport infrastructure, motor transport, car operation efficiency, filling stations, accessibility of filling stations, road network.*

For citation: Gorbachev S.V., Dergunov S.A., Druchin D.A., Filippov A.A. Methodology for determining the parameters of the infrastructure of an autogas refueling complex // Roads and Bridges. 2024; (51/1): 268-290. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Использование газомоторного топлива на автомобильном транспорте является типовым решением, позволяющим добиться снижения эксплуатационных расходов и отрицательного воздействия на окружающую среду. Стоимость газомоторного топлива более чем в 2 раза ниже стоимости бензина и дизельного топлива [1]. Это, в свою очередь, спо-

способствует снижению себестоимости производимой продукции и предоставляемых услуг.

Создание газозаправочной инфраструктуры на федеральных автомобильных дорогах является ключевым этапом развития рынка газомоторного топлива. Учитывая стратегическую важность данной проблемы, Министерством транспорта Российской Федерации и Росавтодором совместно с рядом компаний была разработана генеральная схема размещения объектов газозаправочной инфраструктуры на федеральных автомобильных дорогах. Схема является составной частью государственной политики обеспечения энергетической безопасности страны и предполагает создание сети, состоящей из более чем 240 объектов, в срок до 2030 года.

Перспективность тематики, связанной с расширением области применения газомоторных топлив, обуславливает широкий спектр научных работ в данной области. Разработке методов повышения эффективности применения газомоторных топлив посвящены труды Е.В. Бондаренко, П. Бушева, В.И. Ефанова, Я.С. Мкртчана, В.М. Михайлова, А.И. Морева, К.Ю. Чирикова, П.Т. Краева, М.В. Короткова, А.А. Филиппова, Р.Т. Шайлина, Е.М. Чикишева [2-14].

Под газозаправочной инфраструктурой понимается совокупность заправочных станций. Инфраструктура характеризуется определенными параметрами, обеспечивающими создание технологических и экономических условий применения в качестве автомобильного топлива компримированного природного газа (КПГ). Требования, предъявляемые к газозаправочной инфраструктуре, включают в себя транспортную доступность заправочных станций, возможность удовлетворения растущего спроса, обеспечение производственной и экологической безопасности и др. Ряд требований определяется особенностями потребителей, региональной территорией и требованиями нормативной документации¹ [15].

Решение сформулированных научных и практических задач возможно на основе математических моделей, отражающих зависимость

¹Постановление Правительства Российской Федерации от 28.10.2020 № 1753 «О минимально необходимых для обслуживания участников дорожного движения требованиях к обеспеченности автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального, местного значения объектами дорожного сервиса, размещаемыми в границах полос отвода автомобильных дорог, а также требованиях к перечню минимально необходимых услуг, оказываемых на таких объектах дорожного сервиса» // Кодекс: Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566144105> (дата обращения: 26.04.2024).

параметров газозаправочного комплекса от параметров потребителей и дорожной сети региона. Отсутствие четкой методики формирования инфраструктуры газозаправочного комплекса является актуальной проблемой, понимание которой позволило сформулировать цель и основные задачи исследования.

Цель представленного в данной статье исследования заключалась в повышении эффективности эксплуатации автомобильного транспорта на основе совершенствования газозаправочного комплекса.

При этом были определены следующие задачи:

1. Проанализировать состояние вопроса развития газозаправочной инфраструктуры и рынка компримированного природного газа в Российской Федерации.
2. Провести обзор методических подходов, используемых при проектировании сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС).
3. Формализовать математическую модель, сформировать расчетные составляющие модели, применяемые в качестве методики определения структурных параметров автогазозаправочного комплекса.
4. Определить параметры сети АГНКС и разработать предложения по ее развитию в условиях Оренбургской области.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Оренбургская область рассматривается как один из ведущих субъектов развития рынка компримированного природного газа. Предпосылкой к этому является наличие газоперерабатывающего комплекса и магистральных газопроводов, которые выступают в качестве источника производства компримированного природного газа.

В 2017 г. в Оренбургской области была принята региональная программа², направленная на расширение использования в Оренбургской области компримированного природного газа в качестве автомобильного топлива. Программой предусматривалось увеличение доли газомоторной техники в различных отраслях экономики и обеспечение

² Постановление Правительства Оренбургской области от 29 июня 2017 года N 482-п «Об утверждении региональной программы «Развитие газификации в Оренбургской области в 2017-2021 годах» (с изменениями на 16 июля 2018 года)» // Кодекс: Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/450259374> (дата обращения: 26.04.2024).

их заправочной инфраструктурой.

В программе представлены причины низкого спроса на природный газ, устранение которых, по мнению разработчиков, позволит достичь ожидаемых результатов.

Удалось достигнуть значительных результатов, однако целевые показатели Программы реализованы не в полной мере. Главная причина – отсутствие газозаправочной сети. Как следствие, снижение динамики роста парка газомоторной техники, заявленной в Программе.

Для реализации программы перевода автомобильного транспорта на сжатый природный газ создается разветвленная сеть стационарных газонаполнительных компрессорных станций. В зависимости от требований к заправочной производительности и месту расположения определяется наиболее подходящий вариант АГНКС.

Параметры работы заправочного пункта зависят от принятой организационной схемы проведения заправки автомобилей [3, 16]. Наиболее применимым на практике стал способ, предполагающий обслуживание первого прибывшего автомобиля, если имеется свободный заправочный пост. При отсутствии свободных заправочных постов и присутствии других автомобилей в ожидании заправки автомобиль будет обслужен в порядке очереди.

В данном случае сеть газовых заправок рассматривается как многоканальная система массового обслуживания с ожиданием. Формируемая система описывается рядом ключевых параметров: числом автомобилей $N(t)$, находящихся на заправочной станции с числом заправочных постов m в момент t . Если $N(t) \leq m$, то все автомобили заправляются. Если $N(t) > m$, то m автомобилей заправляются, а $(N(t) - m)$ – количество автомобилей, находящихся в очереди. Потоки такого типа являются пуассоновскими. Можно предположить, что длительность обслуживания автомобилей имеет экспоненциальное распределение.

По теореме Маркова с помощью графа переходных состояний получим систему алгебраических уравнений вероятности обслуживания для установившегося режима заправки автомобилей на заправочном пункте, имеющую следующее решение:

$$P_n = \left\{ \frac{m^n \cdot \nu^n}{n!} \cdot P_0, 0 \leq n \leq m; \frac{m^m \cdot \nu^m}{m!} \cdot P_0, n \geq m \right., \quad (1)$$

где

m – число заправочных постов, ед.;

n – количество автомобилей, находящихся на заправке и ожидаю-

щих заправки, ед.;

V – относительная пропускная способность заправки, ед.

$$V = \frac{\lambda}{\mu}, \quad (2)$$

где

λ – интенсивность поступления автомобилей на заправку;

μ – общая интенсивность заправки автомобилей.

$$P_0 = \left[\frac{m^m \cdot V^m}{m! \cdot (1-V)} + \sum_{n=0}^{m-1} \left(\frac{m^n \cdot V^n}{n!} \right) \right]^{-1}. \quad (3)$$

При известных значениях вероятностей P_n $n = 1, 2, 3 \dots$ можно определить следующие характеристики заправочного пункта, как звена проектируемой дорожной инфраструктуры.

Среднее количество автотранспортных средств, находящихся на заправочной станции, определяется по формуле:

$$\bar{j} = m \cdot V. \quad (4)$$

Среднее число автомобилей в очереди:

$$\bar{\eta} = \frac{m^m \cdot V^{m+1} \cdot P_0}{m! \cdot (1-V)^2}. \quad (5)$$

Время, затрачиваемое на одну заправку:

$$v = \frac{m}{\mu}. \quad (6)$$

Среднее время ожидания в очереди:

$$\bar{\omega} = \frac{m^m \cdot V^m \cdot P_0}{m! \cdot (1-V)^2 \cdot \mu}. \quad (7)$$

Вероятность того, что длительность ожидания в очереди не более x :

$$P(\omega \leq x) = 1 - \frac{m^m \cdot V^m \cdot P_0}{m! \cdot (1-V)} \cdot e^{(\lambda - \mu) \cdot x}. \quad (8)$$

Среднее арифметическое отклонение числа автомобилей, находящихся на заправке:

$$D_j = \sum_{j=0}^m |j - \bar{j}| \cdot P_j. \quad (9)$$

С помощью уравнений (4)-(7) можно определить следующие числовые характеристики:

- \bar{n} – среднее число автомобилей, находящихся на заправке и ожидающих заправки;
- \bar{u} – среднюю продолжительность пребывания автомобиля на заправочном пункте;
- \bar{l} – среднее число свободных постов;
- N – пропускную способность заправочного пункта по заправке автомобилей в интервале времени $(0, t_0)$.

Перечисленные характеристики при конкретных условиях позволяют оценить эффективность работы действующих заправочных пунктов и оптимизировать параметры проектируемых заправочных пунктов.

Максимальное число рабочих компрессоров и показатели их производительности определяют интервал, в рамках которого назначается число заправочных постов на АГНКС. При расчете данного интервала дополнительно учитывается средний объем одной заправки, среднее время заправки автомобиля и число заправляемых автомобилей в течение заданного времени:

$$m_{max} = \left[\frac{M_p Q_k V}{Q_3} \right], m_{min} = \left[\frac{NV}{t_0} \right] + I \left(\left\{ \frac{NV}{t_0} \right\} \right), \quad (10)$$

где

$[x]$, $\{x\}$ – соответственно целая и дробная часть числа x ;
 M_p – число рабочих компрессоров;
 Q_k – подача компрессора, м³/мин;
 Q_3 – средний объем заправки для одного автомобиля, м³;
 $I(\cdot)$ – единичная функция.

В качестве целевой функции, подлежащей минимизации, приняты суммарные потери в единицу времени от простоя автомобилей в очереди и от простоя заправочных постов. Оптимизируемым параметром в этом случае является число заправочных постов. При этом целевая функция имеет вид:

$$K(m) = c_1 \bar{\eta} + c_2 \bar{l} \rightarrow \min, \quad (11)$$

где

c_1 и c_2 – соответственно стоимость потерь в единицу времени от простоя одного автомобиля в очереди и от простоя одного заправочного поста.

Оптимальное число заправочных постов m^* , обеспечивающих заправку заданного количества автомобилей в заданном промежутке времени при минимуме потерь, определяется из системы неравенств:

$$\{K(m^* - 1) - K(m^*) \geq 0; K(m^*) - K(m^* + 1) \leq 0\}. \quad (12)$$

Расположение заправочного пункта как объекта обслуживания, математически определяется с помощью моделей пространственного взаимодействия [17], согласно законам Рейли и Хаффа.

Граница, которую устанавливает закон Рейли и Хаффа между двумя объектами обслуживания, называется точкой разрыва (точка 0). Числовые значения, формирующие границы интервала, позволяют установить месторасположение заправочной станции (объект 1), относительно другой заправочной станции (объект 2), а также формируют территорию с потребителями, являющимися потенциальными клиентами рассматриваемой заправочной станции.

$$BP_{01} = \frac{d_{12}}{1 + \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}}, \quad (13)$$

где

BP_{01} – расстояние от точки разрыва или точки 0 до точки 1;

d_{12} – расстояние от объекта 1 до объекта 2;

A_1 и A_2 – критерии привлекательности объектов 1 и 2.

Зона охвата может быть определена для каждого объекта заправочной станции, что позволит определить количество потенциальных потребителей.

Для значительных по площади объектов возможен укрупненный подсчет, основанный на использовании закона Хаффа:

$$P_i = \frac{\frac{F_i}{T_i^b}}{\sum_1^N \frac{F_j}{T_j^b}}, \quad (14)$$

где

P_i – вероятность посещения заправочной станции потребителем;

F_i, F_j – площадь объекта, m^2 ;

T_i, T_j – время поездки до заправочной станции, ч;

N – количество однотипных заправочных станций в рассматриваемой зоне;

b – параметр, учитывающий тип посещения заправочной станции (с отклонением ($b = 1$) и без отклонения ($b = 0$) от маршрута).

Кроме приведенных выше методик, для оценки зоны охвата заправочной станции, в рамках исследования предложена методика концентрических зон. Для применения данной методики целесообразно классифицировать окружающую территорию исходя из вероятности посещения заправочной станции потенциальными потребителями. Предполагается выделение нескольких поясов: зон высокой, средней и низкой вероятности обращения потребителя на заправочную станцию.

Градостроительные нормы проектирования и нормы, регламентирующие обеспеченность автомобильных дорог общего пользования объектами дорожного сервиса, размещаемыми в границах полос отвода автомобильных дорог³, определяют доступность объектов обслуживания населения. Для автомобильных заправочных станций доступность измеряется радиусом пешеходной доступности, т.е. в минутах движения пешехода, а обеспеченность – в количестве автомобилей, обслуживаемых одним заправочным постом. Учитываются также значения максимально возможного расстояния между объектами дорожного сервиса, регламентированные утвержденными нормами³.

Исходя из вышеизложенного, площадь доступности заправочной станции составит:

$$S_{д.с.} = S_{тер.} \cdot k_{прив.} \cdot \frac{N_{тс}}{N_{тс}} \cdot \left(\frac{V_{экспл.}}{V_{пеш.}} \right)^2, \text{ км}^2 \quad (15)$$

где

$S_{тер.}$ – площадь территории, рассматриваемой для размещения заправочной сети, км²;

$k_{прив.}$ – коэффициент, учитывающий разницу плотности дорожной сети в населенном пункте и за его пределами;

$N_{тс/с}$ – установленное количество потребителей, располагающихся в пределах площади доступности одной АГНКС, ед.;

$N_{тс}$ – количество единиц автомобилей, размещенных на рассматриваемой территории, авт.;

$V_{экспл.}$ – средняя скорость движения транспортных средств по дорогам, исследуемой территории, км/ч;

$V_{пеш.}$ – средняя скорость движения пешеходов, км/ч.

Нормативные значения коэффициентов обеспеченности объектами инфраструктуры указаны в нормах градостроительного проектирования. Для объектов внегородской дорожной инфраструктуры применен

³ Постановление Правительства Российской Федерации от 28.10.2020 № 1753.

коэффициент $k_{\text{прив.}}$, позволяющий учесть плотность дорожной сети:

$$k_{\text{прив.}} = \frac{L_{\text{вне}}}{S_{\text{вне}}} / \frac{L_{\text{н.п.}}}{S_{\text{н.п.}}},$$

$$k_{\text{прив.}} = \frac{L_{\text{вне.}}}{L_{\text{н.п.}}} \cdot \frac{S_{\text{н.п.}}}{S_{\text{вне.}}}, \quad (17)$$

где

$L_{\text{н.п.}}$ – протяженность дорожной сети в населенном пункте, км;

$S_{\text{н.п.}}$ – площадь населенного пункта, км²;

$L_{\text{вне}}$ – протяженность дорожной сети вне городской территории, км;

$S_{\text{н.п.}}$ – площадь загородной территории, км².

Полученное значение $S_{\text{д.с.}}$ является основой для расчета среднего количества заправок постов на рассматриваемой заправочной станции:

$$\bar{N}_{\text{пост}}^{\text{КПГ}} = \frac{N_{\text{тс}}^{\text{КПГ}} \cdot S_{\text{д.с.}} \cdot W_{\text{АЗС}}}{N_{\text{тс/с}} \cdot S_{\text{тер.}} \cdot W_{\text{АГНКС}}}, \text{ пост}, \quad (18)$$

где

$\bar{N}_{\text{пост}}^{\text{КПГ}}$ – среднее количество постов заправки на одной заправочной станции, пост;

$N_{\text{тс}}^{\text{КПГ}}$ – количество потенциальных потребителей компримированного природного газа после осуществления программы перевода автомобильного транспорта на газовое топливо, ед.;

$W_{\text{АЗС}}$ – часовая пропускная способность одного поста АЗС, ед./ч;

$W_{\text{АГНКС}}$ – часовая пропускная способность одного поста АГНКС, ед./ч.

Формализация параметров газозаправочной сети позволяет произвести уточненный расчет производительности всей совокупности станций, исходя из перераспределения потребителей по зонам доступности АГНКС. Так как потребители компримированного природного газа неравномерно распределены в пределах исследуемой территории, то производится размещение заправок станций с учетом наибольшего охвата пунктов расположения ключевых потребителей ^{4,5}(рис. 1).

⁴ РД 03112194-1095-03. Руководство по организации эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе. Руководящий документ. //

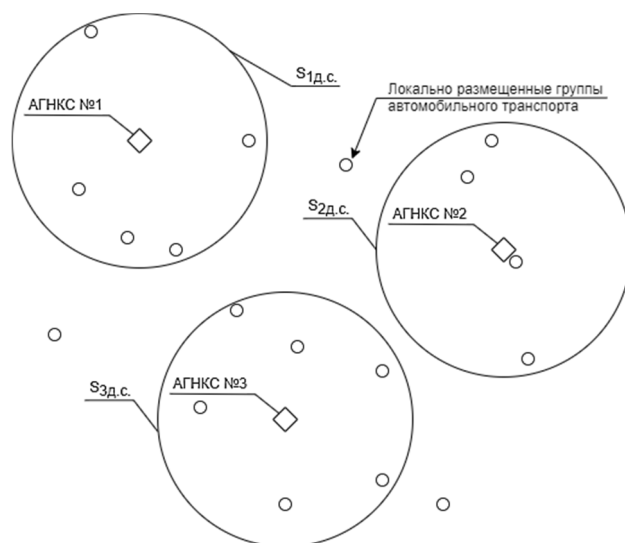


Рис. 1. Распределение групп потенциальных потребителей по проектируемым заправочным станциям (графическая интерпретация)

В зависимости от численности потребителей, расположенных на территории зоны доступности, производится расчет количества постов на заправочной станции:

$$N_{i \text{ ст.пост}}^{\text{КПГ}} = \frac{N_{\text{пост}}^{\text{КПГ}} \cdot N_{i \text{ ст.опор}} \cdot S_{\text{тер.}}}{N_{\text{общ.опор}} \cdot S_{\text{д.с.}}}, \text{ ПОСТ} \quad (19)$$

где

$N_{i \text{ ст.пост}}^{\text{КПГ}}$ – количество заправочных постов на i -ой заправочной станции, пост;

$N_{i \text{ ст.опор}}$ – количество единиц транспорта, входящих в состав ключевых потребителей и расположенных в пределах зоны доступности, ед.;

$N_{\text{общ.опор}}$ – общее количество единиц транспорта, относимого к категории ключевых потребителей, ед.

Консорциум Кодекс: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034846> (дата обращения: 26.04.2024).

5ВРД 39-2.5-082-2003. Правила технической эксплуатации автомобильных газонаполнительных компрессорных станций // КонсультантПлюс: компьютерная справочно-правовая программа. – URL: https://cngas.ru/wp-content/uploads/2013/09/EXP485536_0_20130316_141255_52796.pdf (дата обращения: 26.04.2024).

При выполнении условия $S_{д.с.} \geq S_{тер.}$ расчет $N_{i ст.пост}^{КПГ}$ проводится по формуле (18).

В рамках рассматриваемого исследования разработан подход, позволяющий определить очередность ввода в эксплуатацию АГНКС, что способствует планомерному росту численности газомоторного автотранспорта. Суть данного подхода заключается в поэтапном строительстве объектов сети АГНКС, последовательном расширении зоны территориального присутствия газозаправочной инфраструктуры на исследуемой территории.

Первый этап реализуемого подхода – сбор информации о существующих и потенциальных потребителях энергоносителей, выявление ролей станций в процессе разворачивания сети АГНКС. Станция, которая будет строиться первой, выполняет роль станции инфраструктурного присутствия. Другие, вновь создаваемые станции, относятся к категории станций территориального присутствия. Строительство каждой новой станции производится после достижения суммарной загрузки ранее построенных станций на уровне более 50 %.

Выбрав заправочную станцию, обеспечивающую инфраструктурное присутствие, разрабатывается последовательность строительства других заправочных станций сети согласно следующим условиям:

- строительство следующей материнской станции, максимально удаленной от существующей газозаправочной инфраструктуры;
- при отсутствии материнской станции осуществляется строительство станции, максимально удаленной от существующей газозаправочной инфраструктуры.

Представленный порядок определения технологических параметров АГНКС позволяет на основе планируемого в разное время суток уровня загрузки определять оптимальные характеристики технологического оборудования. Расположение заправочного пункта, как объекта обслуживания, математически определяется с помощью моделей пространственного взаимодействия согласно законам Рейли и Хаффа, а также индекса розничного насыщения. Данные теоретические положения используются для определения зон и областей доступности заправочных пунктов для потребителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для расчета параметров заправочной сети в пределах исследуемой территории составлена табл. 1, включающая характеристики ряда районов Оренбургской области.

Таблица 1

Характеристики районов и городов Оренбургской области, входящих в состав исследуемой территории

<i>Административный район</i>	$S_{\text{тер.}}$, км ²	$N_{\text{ТС/кв}}$ ед.	$N_{\text{ТС}}$ ед.	$V_{\text{экспл.}}$ км/ч	L , км	$k_{\text{прив}}$	$N_{\text{ТС}}^{\text{КПГ}}$, ед.
<i>г. Оренбург</i>	259	1200	170600	21	900	1	10236
<i>Оренбургский р-н</i>	5022	1200	32262	50	674	0,025	1936
<i>Перволоцкий р-н</i>	2756	1200	8432	53	370	0,025	506
<i>Новосергиевский р-н</i>	4531	1200	10968	54	608	0,025	658
<i>Сорочинский р-н</i>	2700	1200	3914	60	353	0,025	235
<i>Тоцкий р-н</i>	3112	1200	9760	54	418	0,025	586
<i>г. Бузулук</i>	54,42	1200	30700	25	281,8	1,0	2080
<i>Бузулукский р-н</i>	3808	1200	8734	55	511,38	0,025	1310

На основе применения разработанной методики и дополнительных условий выполнено распределение ролей станций в процессе развития сети АГНКС:

1. АГНКС, п. Новосергиевка – станция инфраструктурного присутствия.
2. АГНКС, г. Бузулук – станция территориального присутствия.
3. АГНКС, п. Холодные Ключи – станция территориального присутствия.

4. АГНКС, п. Переволоцкий – станция территориального присутствия.
5. АГНКС, г. Сорочинск – станция территориального присутствия.
- Применив расчетные формулы (15)-(19), были определены характеристики сети АГНКС, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета характеристик АГНКС

<i>Город / административный район</i>	<i>$S_{д.с.}$, км²</i>	<i>Количество заправочных постов, ед.</i>	<i>Соответствие АГНКС по количеству заправок в сутки</i>	<i>Рисунок, представляющий размеры $S_{д.с.}$</i>
<i>г. Оренбург</i>	32,14	34,12	4 АГНКС-500 + АГНКС-125	Территория за рамками исследуемого участка дороги
<i>Оренбургский р-н</i>	466,99	6,45	АГНКС-500	Рисунок 3
<i>Переволоцкий р-н</i>	1101,75	1,69	АГНКС-125	Рисунок 3
<i>Новосергиевский р-н</i>	1445,56	2,19	АГНКС-125	Рисунок 3
<i>Сорочинский р-н</i>	2980,07	0,78	АГНКС-75/125	Рисунок 3
<i>Тоцкий р-н</i>	1115,73	1,95	АГНКС-125	Перекрытие с $S_{д.с.}$ соседних районов. Решение - не размещать АГНКС
<i>г. Бузулук</i>	53,18	6,93	АГНКС-500	Рисунок 3
<i>Бузулукский р-н</i>	1582,67	4,37		

Графическое представление полученных результатов приведено на **рис. 2**.

Согласно установленным расчетным параметрам, а также проведенному сравнению с действующей сетью АГНКС удалось определить следующее:

- технологическая мощность газозаправочной станции, расположенной в поселке Новосергиевка, является избыточной;
- заправочная мощность сети АГНКС в г. Оренбурге является недостаточной: требуется создание 2-3 АГНКС;
- создание АГНКС в Тоцком районе приведет к перекрытию площадей доступности АГНКС и снижению загрузки на соседствующих станциях.

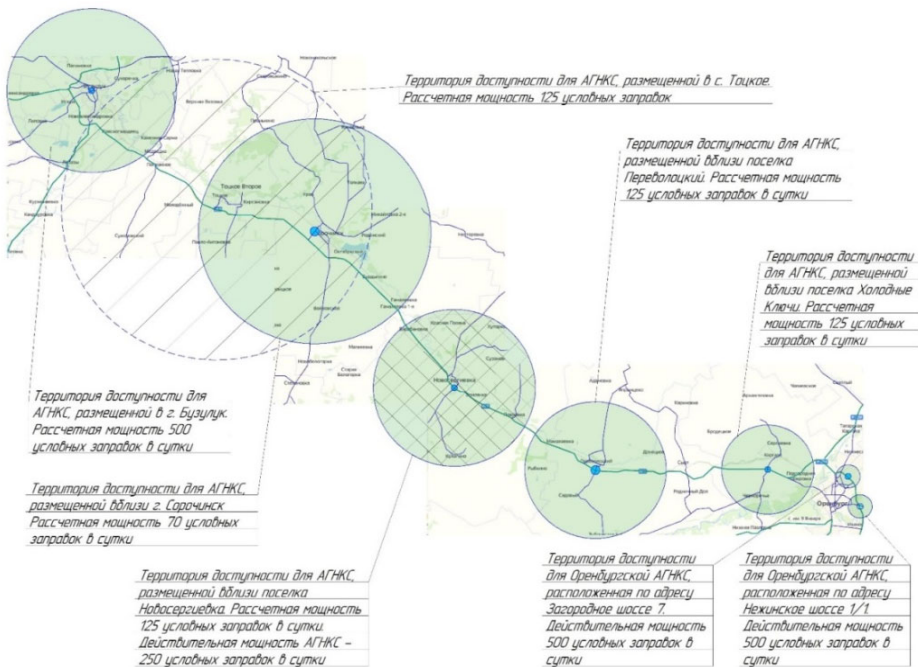


Рис. 2. Характеристика площади доступности АГНКС

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ потребительской базы позволил выявить условное ее разделение на три группы. На основе данного разделения были определены требования к размещению и производительности АГНКС.

Данный подход с целью развития сети АГНКС позволяет ускорить решение вопросов определения потребности создания новых заправочных пунктов. Для обоснования данной потребности разработана математическая модель. С использованием проектных норм и, учитывая особенности АГНКС как заправочной станции, удалось формализовать доступность объекта обслуживания в виде математического выражения (15). В свою очередь данное выражение позволяет определить общую производительность сети, а также распределение ее по заправочным станциям.

В целях планомерного расширения газозаправочного комплекса в регионах, а также предотвращения избыточной плотности инфраструктурного присутствия, возникновение которого неизбежно при строительстве сети объектов обслуживания «от центра», разработан итерационно-последовательный подход. Данный подход включает в себя алгоритм определения АГНКС, обеспечивающий инфраструктурное присутствие.

Представленные решения апробированы в условиях Оренбургской области. В качестве исследуемой территории на предмет развития сети АГНКС был выбран участок автомобильной дороги Оренбург-Самара и прилегающие к ней территории: Оренбургского, Переволоцкого, Новосергиевского, Сорочинского, Тоцкого, Бузулукского районов.

Расчет показал, что развитая сеть АГНКС в пределах исследуемой территории, будет включать в себя 4 новые заправочные станции: АГНКС-500, г. Бузулук; АГНКС-500, п. Холодные Ключи; АГНКС-125, п. Переволоцкий; АГНКС-75/125, г. Сорочинск. Станция в п. Новосергиевка будет выполнять функцию станции, обеспечивающей инфраструктурное присутствие сети АГНКС на период создания новых газозаправочных станций.

ВЫВОДЫ

1. По результатам анализа литературных источников и данных о динамике цен на различные виды энергоносителей определена необходимость наращивания использования компримированного природного газа в качестве топлива для автомобильных двигателей. Исходя из этого, обоснована актуальность выполненного исследования, сформулированы его цель и задачи.

2. Разработана математическая модель размещения автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), основанная на принципах обеспечения территориального покрытия и нормах технологического проектирования. Практическое применение математической модели реализовано в рамках предложенного итерационно-последовательного подхода, который включает в себя алгоритм определения производительности, численности и расположения АГНКС, обеспечивающего их инфраструктурное присутствие на рассматриваемой территории. Комплексное применение разработанных решений позволяет предотвратить создание избыточной плотности газозаправочной инфраструктуры и оптимально распределить производственные мощности.

3. Рассмотренные решения были апробированы в условиях Оренбургской области. В качестве исследуемой территории был выбран участок автомобильной дороги Оренбург-Самара и прилегающие к ней территории Оренбургского, Переволоцкого, Новосергиевского, Сорочинского, Тоцкого, Бузулукского районов. Развитая сеть АГНКС, в пределах исследуемой территории, включает в себя четыре новые заправочные станции, которые приведены в порядке очередности строительства: АГНКС-500, г. Бузулук; АГНКС-500, п. Холодные; АГНКС-125, п. Переволоцкий; АГНКС-75/125, г. Сорочинск. Действующая станция в п. Новосергиевка принята в качестве станции, обеспечивающей инфраструктурное присутствие сети АГНКС на период создания новых газозаправочных станций.

4. Предложенные системные решения позволят увеличить парк газомоторной техники и получить эффективно действующую газозаправочную сеть АГНКС, что в дальнейшем станет основой для расширения использования природного газа не только на автомобильном транспорте, но и на специальной, и сельскохозяйственной технике.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гайнуллин Ф.Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте / Ф.Г. Гайнуллин [и др.]. – М.: Недра, 1986. – 255 с.
2. Gasfuelling stations for fuelling vehicles powered by compressed natural gas. / Ya. S. Mkrtychan, V. M. Michailov, K. Yu. Chirikov, P. T. Karaev. – The 3rd International rational gas utilization Conference. – Prague, 1985. – 12 p. (Tisk SNV Praha).
3. Боксерман Ю.И. Перевод транспорта на газовое топливо / Ю.И. Боксерман, Я.С. Мкртычан, К.Ю. Чириков. – М.: Недра, 1988. – 220 с.
4. Бондаренко Е.В. К вопросу о необходимости развития сети метановых заправок в г. Оренбурге / Е.В. Бондаренко [и др.] // Мир транспорта и технологических машин. – Орел. – 2012. – № 4. – С. 15-23.
5. Бондаренко Е.В. К вопросу о разработке и реализации программы «Расширение парка техники, работающей на природном газе и региональной заправочной сети до 2015 года и на перспективу до 2020 года» / Е.В. Бондаренко, А.А. Филиппов, Р.Т. Шайлин // Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса: материалы 3-ей международной научно-практической конференции. – ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013. – С. 41-45.
6. Бондаренко Е.В. Коэффициент потребительской оценки результативности деятельности обслуживающих предприятий, как основа для разработки инновационных проектов / Е.В. Бондаренко, А.А. Филиппов, Р.Т. Шайлин // Мир транспорта и технологических машин. – 2014. – № 1. – С. 15-20.
7. Бондаренко Е.В. Оценка эффективности эксплуатации автобусного парка на природном газе (на примере г. Оренбурга) / Е.В. Бондаренко, В.И. Миркитанов, А.А. Филиппов // Вестник Оренбургского государственного университета. – Оренбург. – 2007. – № 1. – С. 25-31.
8. Бондаренко Е.В. Формирование газозаправочной инфраструктуры, адаптированной к параметрам работы пассажирского маршрутного транспорта / Е.В. Бондаренко [и др.]. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 1-4 (55). – С. 25-29.
9. Морев А.И. Переход автотранспорта на природный газ: нормативно-справочное пособие для руководителей и специалистов авто-

- транспортных организаций / А.И. Морев [и др.]. – М.: ИРЦ Газпром, 1995. – 141 с.
10. Коротков М.В. Оценка экологической эффективности применения различных видов моторного топлива в ДВС автотранспортных средств / М.В. Коротков, А.А. Филиппов // Транспорт на альтернативном топливе. - 2008. - №1 (1). – С. 73-77; 2008. – №2 (2). – С. 72-75.
 11. Коротков М.В. Сравнительный анализ использования КПП и СУГ в качестве моторного топлива. Продуктовая конкуренция или взаимное дополнение? / М.В. Коротков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 2 (56). – С. 7-19.
 12. Чикишев Е.М. Расширение использования природного газа путем рационального строительства АГНКС (на примере г. Тюмени) / Е.М. Чикишев // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2016. – №10 (115). – С. 8-13.
 13. Чикишев Е.М. Создание инфраструктуры для газобаллонных автомобилей на международном транспортном маршруте «Европа – Западный Китай» / Е.М. Чикишев // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы международной научно-практической конференции. – Тюмень, 2019. – Т. 2. – С. 318-321.
 14. Бушев П. Газовые системы питания автобусов и их сравнительные данные по расходу топлива / П. Бушев, Ю. Панов // АвтоГазоЗаправочный Комплекс + Альтернативное топливо. – 2007. – №1. – С. 47-52.
 15. Вельниковский А.А. Методика обоснования региональной инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (на примере Санкт-Петербурга): дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А.А. Вельниковский; рук. И.О. Черняев. – Санкт-Петербург, 2019. – 216 с.
 16. Караев П.Т. Расчёт объема аккумулятора газа, числа газозаправочных колонок и потребной производительности компрессорных установок АГНКС / П.Т. Караев // Вопросы транспорта газа. – М.: изд. ВНИИГАЗ, 1985. – С. 124 - 135.
 17. Беляевский И.К. Статистика рынка товаров и услуг / И.К. Беляевский [и др.]. – М.: Финансы и статистика, 1995. – 432 с.

REFERENCES

1. Gajnullin F.G. *Prirodnyj gaz kak motornoe toplivo na transporte* / F.G. Gajnullin [i dr.]. – M.: Nedra, 1986. – 255 s.
2. *Gasfuelling stations for fuelling vehicles powered by compressed natural gas.* / Ya. S. Mkrtychan, V. M. Michailov, K. Yu. Chirikov, P. T. Karaev. – The 3rd International rational gas utilization Conference. – Prague, 1985. – 12 p. (Tisk SNV Praha).
3. Bokserman Yu.I. *Perevod transporta na gazovoe toplivo* / Yu.I. Bokserman, Ya.S. Mkrtychan, K.Yu. Chirikov. – M.: Nedra, 1988. – 220 s.
4. Bondarenko E.V. *K voprosu o neobходимosti razvitiya seti metanovyh zapravok v g. Orenburge* / E.V. Bondarenko [i dr.]. // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* – Orel. – 2012. – № 4. – S. 15-23.
5. Bondarenko E.V. *K voprosu o razrabotke i realizacii programmy` «Ras-shirenje parka texniki, rabotayushhej na prirodnom gaze i regional`noj zapravochnoj seti do 2015 goda i na perspektivu do 2020 goda»* / E.V. Bondarenko, A.A. Filippov, R.T. Shajlin // *Aktual`ny`e voprosy` innovacionnogo razvitiya transportnogo kompleksa: materialy` 3-ej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii.* – FGBOU VPO «Gosuniversitet – UNPK», 2013. – S. 41-45.
6. Bondarenko E.V. *Koefficient potrebitel'skoj ocenki rezul'tativnosti deyatel'nosti obsluzhivayushchih predpriyatij, kak osnova dlya razrabotki innovacionnyh proektov* / E.V. Bondarenko, A.A. Filippov, R.T. Shajlin // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin.* – 2014. – № 1. – S. 15-20.
7. Bondarenko E.V. *Ocenka effektivnosti ekspluatatsii avtobusnogo parka na prirodnom gaze (na primere g. Orenburga)* / E.V. Bondarenko, V.I. Mirkitanov, A.A. Filippov // *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta.* – Orenburg. – 2007. – № 1. – S. 25-31.
8. Bondarenko E.V. *Formirovanie gazozapravochnoj infrastruktury, adaptirovannoj k parametram raboty passazhirskogo marshrutnogo transporta* / E.V. Bondarenko [i dr.]. // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal.* – 2017. – № 1-4 (55). – S. 25-29.
9. Morev A.I. *Perekhod avtotransporta na prirodnyj gaz: normativno-spravochnoe posobie dlya rukovoditelej i specialistov avtotransportnyh organizacij* / A.I. Morev [i dr.]. – M.: IRC Gazprom, 1995. – 141 s.
10. Korotkov M.V. *Ocenka e`kologicheskoy e`ffektivnosti primeneniya razlichny`x vidov motornogo topliva v DVS avtotransportny`x sredstv* /

-
- M.V. Korotkov, A.A. Filippov //Transport na al'ternativnom toplive. - 2008. - №1 (1). – S. 73-77;- 2008. - №2 (2). – S. 72-75.*
11. *Korotkov M.V. Sravnitel'nyj analiz ispol'zovaniya KPG i SUG v kachestve motornogo topliva. Produktovaya konkurenciya ili vzaimnoe dopolnenie? / M.V. Korotkov // Transport na al'ternativnom toplive. – 2017. – № 2 (56). – S. 7-19.*
 12. *Chikishev E.M. Rasshirenie ispol'zovaniya prirodnogo gaza putem racional'nogo stroitel'stva AGNKS (na primere g. Tyumeni) / E.M. Chikishev // AvtoGazoZapravochnyj Kompleks+Al'ternativnoe toplivo. – 2016. – №10 (115). – S. 8-13.*
 13. *Chikishev E.M. Sozdanie infrastruktury` dlya gazoballonny`x avtomobilej na mezhdunarodnom transportnom marshrute «Evropa – Zapadnyj Kitaj» / E.M. Chikishev // Problemy` funkcionirovaniya sistem transporta: materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Tyumen`, 2019. – T. 2. – S.318-321.*
 14. *Bushev P. Gazovye sistemy pitaniya avtobusov i ih sravnitel'nye dannye po raskhodu topliva / P. Bushev, Yu. Panov // AvtoGazoZapravochnyj Kompleks+Al'ternativnoe toplivo. – 2007. – №1. – S. 47-52.*
 15. *Vel'nikovskij A.A. Metodika obosnovaniya regional'noj infrastruktury avtomobil'nyh gazonapolnitel'nyh kompressornyh stancij (na primere Sankt-Peterburga): dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.10 / A.A. Vel'nikovskij; ruk. I.O. CHernyaev. – Sankt-Peterburg, 2019. – 216 s.*
 16. *Karaev P.T. Raschyot ob"ema akkumulyatora gaza, chisla gazozapravochnyh kolonok i potrebnoy proizvoditel'nosti kompressornyh ustanovok AGNKS / P.T. Karaev // Voprosy transporta gaza. – M. izd. VNIIGAZ, 1985. – S. 124 - 135.*
 17. *Belyaevskij I.K. Statistika rynka tovarov i uslug / I.K. Belyaevskij [i dr.]. – M.: Finansy i statistika, 1995. – 432 s.*
-

Информация об авторах

С.В. Горбачёв – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и строительных материалов, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

С.А. Дергунов – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог и строительных материалов, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Д.А. Дрючин – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической эксплуатации дорог и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

А.А. Филиппов – кандидат технических наук, ООО «Газпром переработка», Санкт-Петербург, Россия

Information about the authors

S.V. Gorbachev – Ph. D. (Tech.), Associate Professor, Department of Roads and Construction Materials, Orenburg State University, Orenburg, Russia

S.A. Dergunov – Ph. D. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Roads and Construction Materials, Orenburg State University, Orenburg, Russia

D.A. Dryuchin – Ph. D. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Road Technical Operation of Automobile Repair, Orenburg State University, Orenburg, Russia

A.A. Filippov – Ph. D. (Tech.), Gazprom Pererabotka LLC

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Рецензент: канд. техн. наук А.В. Бобков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию 26.02.2024. Одобрена после рецензирования 26.03.2024. Принята к публикации 24.04.2024.

The article was submitted 26.02.2024. Approved after reviewing 26.03.2024. Accepted for publication 24.04.2024.