

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ «АВТОБУСНЫЙ ПАРК – ГАЗОЗАПРАВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС»

Р. Т. Шайлин<sup>1</sup>, А. А. Филиппов<sup>2</sup>

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>e-mail: raul20082008@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: aafilippov1979@gmail.com

М. А. Арсланов

Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джембулатова, Махачкала, Россия

e-mail: arsmurat@yandex.ru

**Аннотация.** Расширение использования природного газа в качестве моторного топлива выступает стратегическим государственным приоритетом при решении топливно-энергетической и экологической проблем функционирования автотранспортного комплекса. Очевидно, что рост парка газомоторной техники не возможен без совершенствования существующей системы обеспечения газовым топливом, которая характеризуется ограниченным количеством специализированных заправочных станций, значительными расстояниями между ними и отсутствием привязки к потребителю при их размещении. Совершенствование газозаправочного комплекса – это задача, условие которой определяется множеством структурных параметров и параметров функционирования, как самого газозаправочного комплекса, так и опорных потребителей. В качестве опорного потребителя рассматривается автобусный парк, задействованный в регулярных пассажирских перевозках, что объясняется его значительным топливопотреблением и территориальным распределением. Таким образом, выявление связей между параметрами представленных структур, позволит обосновывать мероприятия по совершенствованию системы обеспечения газомоторным топливом автобусного парка, что и определяет цель исследования: формирование структурно-функциональной модели системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс».

Для построения модели системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс» использованы методы декомпозиции и синтеза систем. На основе декомпозиции выявлены элементы подсистем. Применение метода синтеза позволило построить промежуточные связи между элементами разных подсистем и установить формализованные зависимости между ними. Таким образом, определены структура и характер взаимосвязи элементов данной системы, что является научной новизной работы. Практическая значимость работы заключается в возможности дальнейшего использования разработанной модели для обоснования технических, технологических и организационных мероприятий по развитию газозаправочного комплекса на основе структурно-функционального моделирования системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс».

Разработана структурно-функциональная модель системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс», которая используется для решения теоретических и практических задач в сфере газификации автомобильного транспорта. Разработанная модель является основой структурно-функционального моделирования – направления дальнейших исследований, ориентированных на обоснование решений по комплексному развитию системы обеспечения газомоторным топливом, максимально адаптированной к параметрам функционирования автобусного парка, при условии доступности объектов газозаправочного комплекса и для других крупных групп потенциальных потребителей.

**Ключевые слова:** газомоторное топливо, автобусный парк, газозаправочный комплекс, пассажирские перевозки, заправочные станции, модель системы, декомпозиция, синтез.

**Для цитирования:** Шайлин Р. Т., Филиппов А. А., Арсланов М. А. Структурно-функциональная модель системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс» // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 122–130. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-1-122.

## STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODEL OF «BUS PARK – GAS FILLING COMPLEX» SYSTEM

R. T. Shailin<sup>1</sup>, A. A. Filippov<sup>2</sup>

Orenburg State University, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>e-mail: raul20082008@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: aafilippov1979@gmail.com

**M. A. Arslanov**

Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambatov, Makhachkala, Russia

e-mail: arsmurat@yandex.ru

**Abstract.** *The expansion of the use of natural gas as a motor fuel is a strategic state priority in solving the fuel, energy and environmental problems of the road transport complex. It is obvious that the growth of the fleet of gas-powered equipment is not possible without the improvement of the existing gas fuel supply system, which is characterized by a limited number of specialized filling stations, significant distances between them and lack of attachment to the consumer when they are placed. Improvement of the gas filling complex is a task, the condition of which is determined by many structural parameters and parameters of functioning, both of the gas filling complex itself and of key consumers. The bus fleet involved in regular passenger transport is considered a key consumer, due to its significant fuel consumption and territorial distribution. Thus, the identification of links between the parameters of the presented structures will allow to justify the measures to improve the system of gas-engine fuel supply to the bus fleet, which determines the purpose of the study: formation of a structural and functional model of the system «Bus park – gas filling complex».*

*Methods of decomposition and synthesis of systems have been used to build the model of the system «Bus Park – Gas Filling Complex». Based on the decomposition, the subsystem elements were identified. The use of the synthesis method allowed to build intermediate connections between elements of different subsystems and to establish formalized dependencies between them. Thus, the structure and nature of the relationship between the elements of this system are defined, which is a scientific novelty of the work. The practical significance of the work lies in the possibility of further using the developed model to justify technical, technological and organizational measures for the development of the gas filling complex on the basis of structural and functional modeling of the system «Bus Park - Gas Filling Complex».*

*A structural and functional model of the system «Bus Park - Gas Filling Complex» has been developed, which is used to solve theoretical and practical problems in the field of gasification of road transport. The developed model is the basis of structural and functional modeling - direction of further research aimed at justification of decisions on complex development of gas-engine fuel provision system, which is as adapted as possible to parameters of bus fleet functioning, provided that facilities of gas filling complex are accessible for other large groups of potential consumers.*

**Keywords:** *gas-powered fuel, bus park, gas filling complex, passenger transport, filling stations, system model, decomposition, synthesis.*

**Cite as:** Shailin, R. T., Filippov, A. A., Arslanov, M. A. (2020) [Structural and functional model of the «Bus park-gas filling complex» system]. *Intellect. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 1, pp. 122–130. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-1-122.

### Введение

В условиях возрастающего спроса на компримированный природный газ (КПГ), отсутствия доступных автогазонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) и низкой степени их загрузки, обеспечение газомоторным топливом предпочтительнее осуществлять по принципу «материнская-дочерняя заправка» [1, 2]. Данный логистический принцип подразумевает взаимодействие между стационарными (АГНКС) и передвижными средствами заправки. Характер взаимодействия определяется параметрами функционирования и территориальным распределением групп опорных потребителей. Поэтому формирование газозаправочного комплекса на основе существующих методов, применяемых для определения производственных параметров стационарных автозаправочных станций (АЗС, АГЗС, АГНКС), не допустимо. Для решения данной проблемы целесообразно использовать структурно-функциональное моделирование для научного обоснования решений по комплексному развитию системы обеспечения газомоторным то-

пливом. Под комплексностью понимается объединение в единую систему функциональных параметров объектов газозаправочного комплекса и опорных потребителей.

В качестве опорных потребителей принимается подвижной состав организаций, доходность которых зависит от объема выполненной транспортной работы [3]. Также при этом необходимо, чтобы объем спроса на моторное топливо от этих групп потребителей был прогнозируемым и постоянным. Данным характеристикам удовлетворяет автобусный парк, задействованный в регулярных пассажирских перевозках.

Таким образом, целью исследования является формирование структурно-функциональной модели системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс».

Данному вопросу посвящены работы [1–6, 9]. Рассмотренные в них подходы ограничиваются исследованиями отдельных элементов системы, включающей опорных потребителей и газозаправочный комплекс, что не учитывает системные

взаимосвязи, влияющие на реализацию потенциала внедрения КПП в качестве моторного топлива. Указанное противоречие устраняется на основе использования системного анализа и моделирования, основой которого является разработанная структурно-функциональная модель системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс».

### Группировка элементов подсистем

При обращении на заправочную станцию потребители опираются на несколько критериев – это удаленность, загруженность станции, стоимость и качество топлива [3]. В пределах одной области (региона) на разных АГНКС качество и стоимость компримированного природного газа, как правило, одинаково, поэтому определяющими критериями будут являться удаленность и загруженность станции. Короткое «плечо» заправки будет мотивировать владельцев групп транспортных средств (ТС), для которых проектировалась газозаправочная станция, к переоборудованию в газобаллонные автомобили [4]. А правильно рассчитанная производительность позволит устранить возникновение нехватки постов, топлива или значительного «холостого» объема резервуаров [4, 5].

Помимо расположения и производительности заправочного пункта, нельзя забывать и о размерах занимаемой территории, что в условиях плотной городской застройки также является ограничивающим фактором.

Таким образом, заправочные станции, составляющие газозаправочный комплекс, характеризуются параметрами, которые можно разделить на три условные группы, определяющие:

- производственные характеристики заправочного пункта;
- размеры и месторасположение заправочного пункта;
- производительность заправочного поста.

Автобусный парк, для которого разрабатывается газозаправочная инфраструктура, является структурой сложной и неоднородной. Сложность восприятия его, как объекта, основана совокупностью отдельных групп транспортных средств, для которых существуют свои количественные характеристики и режимы работы.

Поэтому расчет параметров газозаправочного пункта, основанный на количестве «условных» заправок, не позволит оптимально определить параметры заправочной станции. Это будет вызвано тем, что в течение дня автобусы будут поступать на заправку неравномерно из-за сокращения или увеличения интервальности выходов транспорта на рейс [5]. Таким образом, при определении основных параметров газозаправочной станции необходимо рассматривать полную информацию о работе маршрутов, закрепленных за данной станцией, т. е.

использовать информацию, полученную из графиков работы маршрутов.

Однако для всех групп ТС, обслуживающих регулярные пассажирские перевозки, есть характеристика, в рамках которой, возможно проведение общения нескольких групп. Данная характеристика – это место дислокации подвижного состава [6].

В зависимости от принадлежности к определенной фирме-перевозчику, можно определить первый пункт адресного размещения автобусного парка – это стоянки при автотранспортных предприятиях, где автобусы размещаются в ночное время, и от которых будет производиться выезд на заправочный пункт с последующей отправкой на пассажирский маршрут [6]. Второй пункт адресного размещения – это стоянки межрейсового ожидания, которые размещаются вблизи от конечных остановок и являются общими для нескольких маршрутов, с которых автобусы также могут отправляться на заправку в период наиболее продолжительного отдыха водителей.

Ещё одной характеристикой, оказывающей влияние на заправочный комплекс со стороны автобусного парка, являются габаритные размеры транспорта. На основе размера автобусов определяется схема движения на заправочном пункте и площадь, занимаемая постами обслуживания.

Таким образом, со стороны автобусного парка в разрабатываемой системе принимают участия параметры, которые условно можно разделить на четыре группы, определяющие:

- режим работы пассажирского маршрута;
- характеристика пассажирского маршрута;
- параметры работы автобуса;
- технические характеристики автобуса.

Такое представление модели системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс» без раскрытия комплекса параметров, определяющих взаимосвязь характеристик каждой подсистемы, является не полным. Поэтому используя метод декомпозиции, определим составляющие подсистем [10].

### Декомпозиция подсистемы «Газозаправочный комплекс»

Заправочные станции характеризуются количеством условных заявок на заправку  $n_{заяв}$  и объемом отпускаемого потребителям топлива в сутки. В рамках рассмотрения объектов газозаправочного комплекса, реализующих компримированный природный газ, основными характеристиками, помимо  $n_{заяв}$ , будут время обслуживания  $t_{обс}$  и заправочная производительность  $Z_{пр}$ . Эти отличия вызвано тем, что за счет газоподготовительной аппаратуры и компрессорного оборудования процесс подготовки и раздачи газового топлива потребителям занимает более продолжительное время по сравнению с разливом жидких моторных топлив.

При известном количестве заявок и продолжительности обслуживания определяется количество заправочных постов  $n_{\text{пост}}$  и постов ожидания  $n_{\text{ожид}}$ . В совокупности с площадями, занимаемыми оборудованием, определяются размеры территории необходимые под размещение заправочной станции  $S_{\text{ЗС}}$  [7]. Учитывая действующие ограничения на размещение заправочных станций, определяется адресное расположение газовой заправки  $P_{\text{ЗС}}$  [7].

$$n_{\text{пост}} = \frac{t_{\text{обс}} \cdot (n_{\text{заяв}} / t_{\text{раб.з}})}{t_{\text{раб.з}} \cdot k_{\text{нер}}}, \text{ пост} \quad (1)$$

$$n_{\text{ожид}} = \frac{t_{\text{очер}} \cdot (n_{\text{заяв}} / t_{\text{раб.з}})}{t_{\text{раб.з}} \cdot k_{\text{нер}}}, \text{ пост} \quad (2)$$

где

$n_{\text{пост}}$  – количество заправочных постов на заправочной станции, пост;  
 $n_{\text{ожид}}$  – количество постов ожидания на заправочной станции, пост;  
 $t_{\text{обс}}$  – продолжительность обслуживания на заправочном посту одной заявки на заправку, ч;  
 $t_{\text{очер}}$  – продолжительность обслуживания заявки на заправку, ч;  
 $n_{\text{заяв}}$  – количество заявок на заправку в течении дня, ед.;  
 $t_{\text{раб.з}}$  – продолжительность рабочего дня, ч;  
 $k_{\text{нер}}$  – коэффициент, учитывающий неравномерность поступления заявок на заправку.

$$S_{\text{ЗС}} = n_{\text{пост}} \cdot (a_{\text{пост}} \cdot b_{\text{пост}}) + S_{\text{пр.ч}} + \sum_i (a_{\text{об.и}} \cdot b_{\text{об.и}}), \text{ м}^2 \quad (3)$$

где

$S_{\text{ЗС}}$  – площадь, занимаемая заправочной станцией,  $\text{м}^2$ ;  
 $a_{\text{пост}}, b_{\text{пост}}$  – длина и ширина заправочного поста, м;  
 $S_{\text{пр.ч}}$  – площадь, занимаемая проезжей частью на заправочной станции, м;  
 $a_{\text{об.и}}, b_{\text{об.и}}$  – длина и ширина газоподготовительного и газораздаточного оборудования на заправочной станции,  $\text{м}^2$ .

Раздача топлива на газозаправочной станции производится централизованно, т.е. с одного резервуара (АГНКС, ПАГЗ, последовательно соединенные аккумуляторы газа), или отдельно – с нескольких отдельно размещенных на постах модулей баллонного газового обеспечения (МБГО). В случаях применения ПАГЗ и МБГО необходимо учитывать заправочную вместимость резервуаров  $V_{\text{запр}}$ , так как в них давление должно быть выше рабочего

давления в газовых баллонах потребителей [2, 11, 12]. Соответственно, для поддержания требуемого давления в резервуарах и уменьшения их габаритных размеров необходимо производить пополнение резервуаров с определенной частотой  $I_{\text{пр}}$  и определенным количеством сжатого газа  $O_{\text{пр}}$ .

$$V_{\text{запр}} = \frac{Q_{\text{запр}} \cdot 1000}{\frac{P_{\text{полн}}}{Z_{\text{полн}}} - \frac{P_{\text{пуст}}}{Z_{\text{пуст}}}}, \text{ м}^3 \quad (4)$$

где

$V_{\text{запр}}$  – вместимость резервуара (аккумулятор газа),  $\text{м}^3$ ;  
 $Q_{\text{запр}}$  – объем суточной заправки парка потребителей,  $\text{м}^3$ ;  
 $P_{\text{полн}}, P_{\text{пуст}}$  – давление газа в заполненном и опорожненном сосуде,  $\text{кгс/см}^2$ ;  
 $Z_{\text{полн}}, Z_{\text{пуст}}$  – коэффициент сжимаемости газа в заполненном и опорожненном сосуде.

#### Декомпозиция подсистемы «Автобусный парк»

Автобусный парк для регулярных пассажирских перевозок представляет собой комплекс транспортных средств разделенных на группы, которые обслуживают определенные регулярные пассажирские маршруты.

От пассажиров к автобусному парку предъявляются требования по регулярности обслуживанию пассажирских маршрутов  $R_{\text{м}}$ , выражаемые:

- интервалами выездов автобусов на маршрут  $t_{\text{инт}}$ ;
- продолжительностью обслуживания маршрута, т.е. время начала  $T_{\text{нр}}$  и окончания работы  $T_{\text{ор}}$  маршрута;
- продолжительностью ездки по маршруту  $t_{\text{м}}$ ;
- изменениями интервальности движения в часпик  $T_{\text{ин}}$ .

$$R_{\text{ми}} = f(t_{\text{инт. min}}, t_{\text{инт. max}}, T_{\text{нр}}, T_{\text{ор}}, t_{\text{м}}, T_{\text{ин}}) \quad (5)$$

На основе требований предъявляемых к регулярности обслуживания пассажиров устанавливается протяженность маршрута  $L_{\text{м}}$  со всем перечнем остановочных пунктов, пункты адресного размещения транспортных средств в межрейсовый период  $P_{\text{пмо}}$ , которые располагаются возле одной из конечных остановок маршрута, количество транспортных средств  $n_{\text{тс}}$ , которое будет обслуживать маршрут.

$$L_{\text{м}} = t_{\text{м}} \cdot V_{\text{запр}}, \sim \quad (6)$$



где

$L_m$  – протяженность маршрута, км;  
 $t_m$  – продолжительность ездки по маршруту, ч;  
 $V_{экс}$  – эксплуатационная скорость, км/ч.

$$V_{запр} = \frac{Q_{запр} \cdot 1000}{\frac{P_{полн}}{Z_{полн}} - \frac{P_{пуст}}{Z_{пуст}}}, \text{ м}^3 \quad (7)$$

где

$n_{тс}$  – количество автобусов работающих на маршруте, ед;

$t_{инт.мин}$  – интервал выездов автобусов на маршрут в час-пик, ч.

Учитывая среднюю скорость движения по маршруту  $V_m$ , а также полученные значения количества транспортных средств  $n_{тс}$  и регулярности обслуживания  $R_m$ , строят график (рисунок 1), по которому для каждого автобуса определяют количество выездов на маршрут  $n_{об}$ , и, в зависимости от изменений интервалов  $t_{инт}$  выездов в час-пик  $T_{инт}$ , продолжительность отдыха на площадке межрейсового ожидания  $t_{отд}$ .

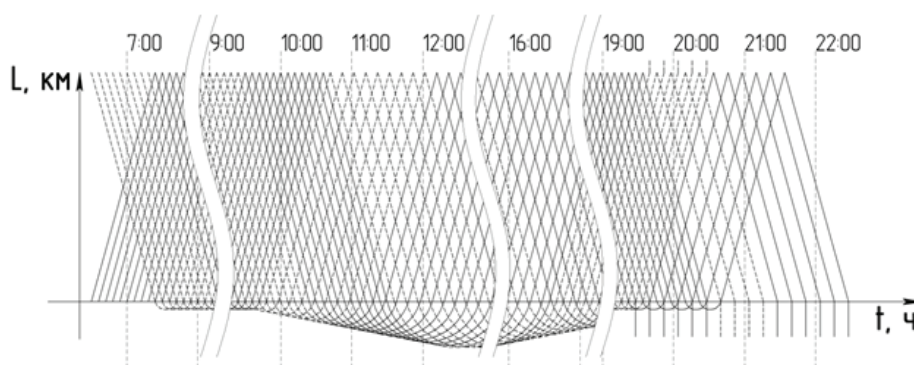


Рисунок 1. График работы автобусов на маршруте

Для обеспечения необходимого запаса хода, определяемого протяженностью маршрута  $L_m$ , количеством ездки по маршруту  $n_{об}$  и холостыми пробегами на заправку  $h_{запр}$  устанавливается объем суточной заправки парка потребителей  $Q_{запр}$  [13, 14] (применяются известные отраслевые методики расчета норм потребления газомоторного топлива). При этом стоит обратить внимание, что выявленные параметры работы автобусов на маршруте могут корректироваться в зависимости от имеющегося в наличии у фирм-перевозчиков автобусов различной пассажировместимости, что в рамках рассмотрения автобусного парка как потребителя газомоторного топлива выражается в габаритах транспортного средства  $\Gamma_{тс}$  [8].

#### Синтез элементов подсистем в систему «Автобусный парк – газозаправочный комплекс»

Ранее было сказано, что производственные показатели заправочной станции определяются на основе суточного количества заявок  $n_{заяв}$ . Количество заявок формируется из общего числа потребителей  $n_{тс}$  различных маршрутов. Однако чтобы учесть пиковые периоды поступления заявок, и оснастить заправочную станцию соответствующими мощностями необходимо рассматривать распределение их количества на протяжении всего рабочего дня. Распределение заявок в течение суток будет напрямую

зависеть от параметров  $R_m$ , которые определяют возможность осуществление заправки в наиболее удобное для водителей время – в период межрейсового ожидания, или менее удобное – при выезде или заезде транспортного средства на АТП. Также необходимо учитывать, что расстояние «плеча» заправки  $h_{запр}$  будет определять возможность обращения на рассматриваемую заправочную станцию удаленного потребителя.

$$n_{заяв} = f(R_m, n_{тс}, h_{запр}) \text{ ед.} \quad (8)$$

где

$h_{запр}$  – протяженность «плеча» заправки, км.

Для вновь проектируемых газозаправочных станций, ориентированных на обслуживание определенных групп потребителей (дочерние заправочные станции), обязательным требованием является отсутствие влияния заправочного процесса на перевозочный [15]. При этом общая продолжительность преодоления плеча заправки, ожидания заправки и самой заправки не должны превышать продолжительность межрейсового ожидания  $t_{отд}$ . Таким образом, на основе выше представленных требований к плечу заправки, адресное расположение дочерней заправочной станции будет определяться продолжительностью межрейсового ожидания  $t_{отд}$ .

$$P_{3C} = f(h_{\text{зап}}, t_{\text{отп}}), \text{ км} \quad (9)$$

На основе представленного описания была раз-

работана структурно-функциональная модель системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс», которая в графическом виде представлена на рисунке 2.

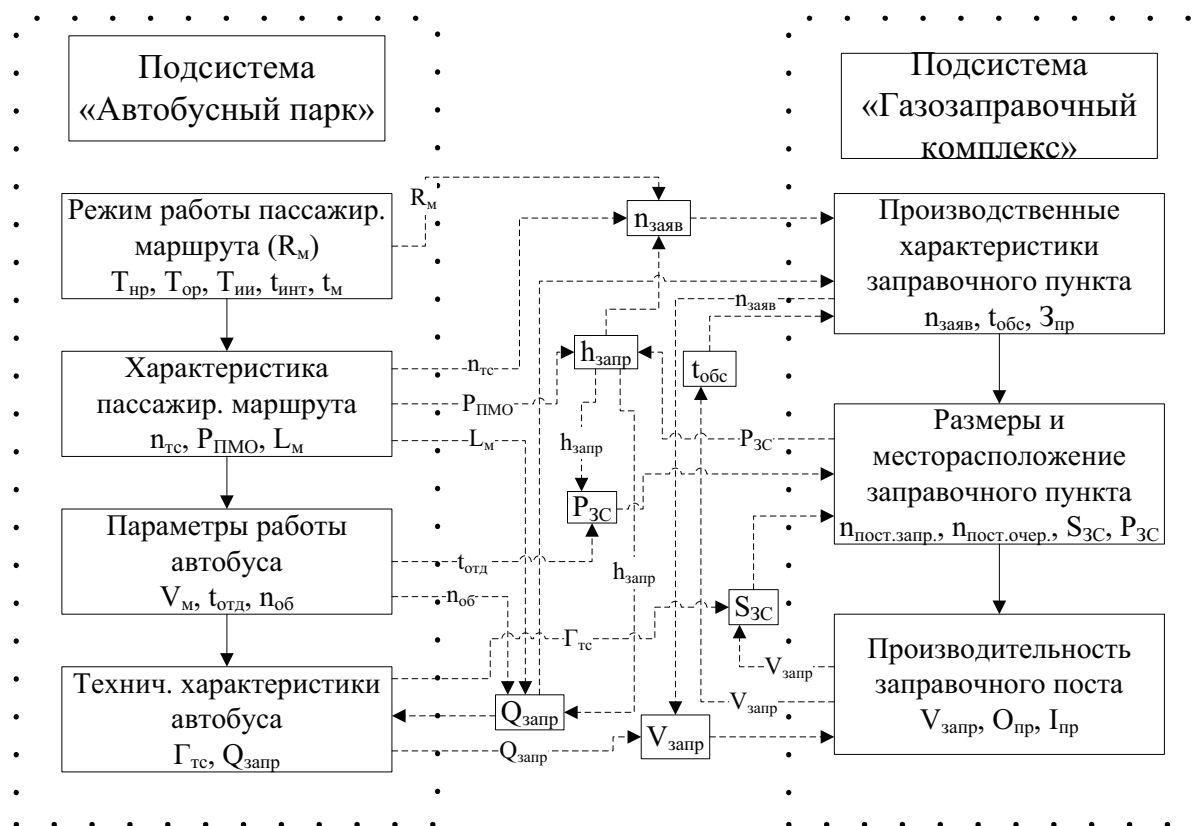


Рисунок 2. Структурно-функциональная модель системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс»

Из представленной схемы (рисунок 2) следует отметить цикличность влияния на самих себя двух элементов, это протяженность «плеча» заправки  $h_{\text{запр}}$  и продолжительность обслуживания заявки на заправку  $t_{\text{обс}}$ . Цикличность для  $t_{\text{обс}}$  обусловлена тем, что продолжительность наполнения газовых баллонов автомобиля будет зависеть от вместимости подобранных резервуаров, количества и объема сосудов высокого давления в секциях резервуара, настроек газораздаточной аппаратуры [2]. То есть, например, чем больше вместимость резервуара при давлении 20 МПа, тем быстрее будет протекать процесс наполнения газовых баллонов автомобиля. Однако при этом следует учитывать ограничения по подбору резервуаров из-за занимаемых ими площадей.

При принятии решения о размещении нового заправочного пункта на той или иной территории руководствуются не только градостроительными нормами, технологическими возможностями, но и удаленностью потребителей от газозаправочных объектов. Поэтому расстояние плеча заправки  $h_{\text{зап}}$

подвергается многочисленным корректировкам, во избежании вероятного перекрытия зон потребительского спроса между действующей и новой заправочной станцией [9]. Это перекрытие может привести к перераспределению существующих потребителей и снижению уровня загрузки и доходности от запланированных показателей.

## Заключение

Решения, представленные в данной работе, позволяют научно-обоснованно подходить к вопросам совершенствования газозаправочной инфраструктуры, ориентированной на опорных потребителей. Выявленные взаимосвязи между элементами системы, позволяют формировать требования как к мощностным параметрам, так и к месту расположения заправочной станции. Это системное представление положительно отразится на процессе газификации транспорта для работы на КПП. Возможность спроектировать заправочный пункт, приспособленный под требования потребителей, сделает компримированный природный газ доступным не толь-

ко для городского пассажирского транспорта, но, а также для таксомоторного и личного легкового парка автомобилей в условиях городов, имеющих единичные АГНКС. Разработанная структурно-функциональная модель системы «Автобусный

парк – газозаправочный комплекс позволяет расширить исследовательские подходы в вопросах развития систем обеспечения потребителей альтернативными видами топлива, что определяет научную ценность представленных в работе результатов.

### Литература

1. Маленкина И. Ф., Ровнер Г. М., Мкртычан Я. С. Система обеспечения эффективного развития и эксплуатации сети метановых автозаправочных станций. – М.: Газоил пресс, 2005. – 274 с.
2. Евдокимов Я. А., Лавров Е. П. Эволюция АГНКС часть 3. Виртуальная труба // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 4 (52). – С. 12–22.
3. Якунин Н. Н., Якунина Н. В., Дрючин Д. А., Тищенко А. С. Повышение эффективности эксплуатации парка автомобилей на газомоторном топливе на основе структурно-ориентированного моделирования // Автомобильная промышленность. – 2018. – № 2. – С. 21–24.
4. Евстифеев А. А., Ермалаев А. Е. Влияние холостых пробегов газовых городских автобусов на показатели производственно-хозяйственной деятельности // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 4 (52). – С. 23–30.
5. Люгай С. В., Балашов М. Л., Евстифеев А. А. Оценка времени ожидания заправки транспортного средства на АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 6 (54). – С. 50–54.
6. Вельниковский А. А. Имитационное моделирование инфраструктуры автомобильных газонаполнительных компрессорных станций Санкт-Петербурга на основе районирования городской территории на кластеры // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 5 (64). – С. 137–141.
7. Бондаренко Е. В., Шайлин Р. Т., Филиппов А. А. Математическая модель системы «Автобусный парк – газозаправочный комплекс» // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 12. – С. 17–21.
8. Якунина Н. В., Нурғалиева Д. Х., Легашёв С. В., Мухамедов Д. С. Моделирование структуры пассажирских автотранспортных потоков с использованием показателя динамического габарита пассажира // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2015. – № 4. – С. 140–144.
9. Котиков Ю. Г., Чудаков Р. С. Геоинформационные модели топливообеспечения автотранспорта мегаполиса // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (Государственного технического университета). – 2007. – № 3 (10). – С. 16–22.
10. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Bondarenko E. V., Shajlin R. T., Filippov A. A. (2018). [Creation of «Bus Fleet – Gas-filling Complex» System]. Journal of Fundamental and Applied Sciences. Vol. 10. No. 13 Special Issue, pp. 569–574. (In Eng.).
11. Saadat-Targhi M., Khadem J., Farzaneh-Gord M. (2016) [Thermodynamic analysis of a CNG refueling station considering the reciprocating compressor]. Journal of Natural Gas Science and Engineering. Vol. 29, pp. 453–461. (In Eng.).
12. Ghedan S. G., Aljawad M. S., Poettmann F. H. (1993) [Compressibility of natural gases]. Journal of Petroleum Science and Engineering. Vol. 10. No. 2, pp. 157–162. (In Eng.).
13. Farzaneh-Gord M., Niazmand A., Deymi-Dashtebayaz M., Rahbari H. R. (2015) [Effects of natural gas compositions on CNG (compressed natural gas) reciprocating compressors performance]. Energy. Vol. 90 (Part 1), pp. 1152–1162. (In Eng.).
14. Baratta M., D'Ambrosio S., Iemmolo D., Misul D. (2017) [Method for the recognition of the fuel composition in CNG engines fed with natural gas/biofuel/hydrogen blends]. Journal of Natural Gas Science and Engineering. Vol. 40, pp. 312–326. (In Eng.).
15. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Bondarenko E. V., Shajlin R. T., Filippov A. A. (2018) [Improvement of system of providing with gas motor fuel]. Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. Vol. 10. No. 13. Special Issue, pp. 564–568. (In Eng.).

### References

1. Malenkina, I. F., Rovner, G. M., Mkrtychan, Ya. S. (2005) *Sistema obespecheniya effektivnogo razvitiya i ekspluatatsii seti metanovykh avtozapravochnykh stanciy* [System to ensure efficient development and operation of methane filling station network]. Moscow: Gazoil press, 274 p. (In Russ.).
2. Evdokimov, Ya. A., Lavrov, E. P. (2016) [Evolution of CNG-station part 3. Virtual Pipe]. *Transport na al'ternativnom toplive* [Alternative Fuel Transport]. Vol. 4 (52), pp. 12–22. (In Russ.).
3. Yakunin, N. N., Yakunina, N. V., Dryuchin, D. A., Tishchenko, A. S. (2018) [Increase in the efficiency of the fleet of gas-powered vehicles based on structural-oriented modelling]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive Industry]. Vol. 2, pp. 21–24. (In Russ.).

4. Evstifeev, A. A., Ermalaev, A. E. (2016) [Influence of idle runs of gas city buses on performance indicators]. *Transport na al'ternativnom toplive* [Alternative Fuel Transport]. Vol. 4 (52), pp. 23–30. (In Russ.).
5. Lyugaj, S. V., Balashov, M. L., Evstifeev, A. A. (2016) [Evaluation of the waiting time for the vehicle to be refilled to the CNG-station]. *Transport na al'ternativnom toplive* [Alternative Fuel Transport]. Vol. 6 (54), pp. 50–54. (In Russ.).
6. Vel'nikovskij, A. A. (2017) [Simulation of infrastructure of St. Petersburg automobile gas-filling compressor stations based on zoning of the city territory into clusters]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Messenger of civil engineers]. Vol. 5 (64), pp. 137–141. (In Russ.).
7. Bondarenko, E. V., Shajlin, R. T., Filippov, A. A. (2017) [Mathematical model of the system «Bus Park – Gas Filling Complex»]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automotive Industry]. Vol. 12, pp. 17–21. (In Russ.).
8. Yakunina, N. V., Nurgalieva, D. H., Legashchyov, S. V., Muhamedov, D. S. (2015) [Model passenger traffic structure using dynamic passenger size]. *Intelekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 140–144. (In Russ.).
9. Kotikov, Yu. G., Chudakov, R. S. (2007) [Geoinformation models of fuel supply of vehicles of the metropolis]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta (Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)* [Journal of the Moscow Automobile and Road Institute (State Technical University)]. Vol. 3 (10), pp. 16–22. (In Russ.).
10. Suleimanov, I. F., Moskova, E. V., Bondarenko, E. V., Shajlin, R. T., Filippov, A. A. (2018) [Creation of “BusFleet – Gas-filling Complex” System]. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*. Vol. 10. No. 13 Special Issue, pp. 569–574. (In Eng.).
11. Saadat-Targhi, M., Khadem, J., Farzaneh-Gord, M. (2016) [Thermodynamic analysis of a CNG refueling station considering the reciprocating compressor]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. Vol. 29, pp. 453–461. (In Eng.).
12. Ghedan, S. G., Aljawad, M. S., Poettmann, F. H. (1993) [Compressibility of natural gases]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. Vol. 10. No. 2, pp. 157–162. (In Eng.).
13. Farzaneh-Gord, M., Niazmand, A., Deymi-Dashtebayaz, M., Rahbari, H. R. (2015) [Effects of natural gas compositions on CNG (compressed natural gas) reciprocating compressors performance]. *Energy*. Vol. 90 (Part 1), pp. 1152–1162. (In Eng.).
14. Baratta M., D'Ambrosio S., Iemmolo D., Misul D. (2017) [Method for the recognition of the fuel composition in CNG engines fed with natural gas/biofuel/hydrogen blends]. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. Vol. 40, pp. 312–326. (In Eng.).
15. Suleimanov, I. F., Moskova, E. V., Bondarenko, E. V., Shajlin, R. T., Filippov A. A. (2018) [Improvement of system of providing with gas motor fuel]. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. Vol. 10. No. 13 Special Issue, pp. 564–568. (In Eng.).

#### Информация об авторах:

**Равиль Ташбулатович Шайлин**, ведущий инженер кафедры автомобильного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

**ORCID ID:** 0000-0002-5727-4278

e-mail: raul20082008@mail.ru

**Андрей Александрович Филиппов**, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

**ORCID ID:** 0000-0002-8957-9762

e-mail: aafilippov1979@gmail.com

**Мурат Арсланович Арсланов**, кандидат технических наук, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры автомобильного транспорта, Дагестанский государственный аграрный университет имени М.М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

e-mail: arsmurat@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.10.2019; принята в печать 22.01.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

#### Information about the authors:

**Ravil Tashbulatovich Shailin**, Leading Engineer, Department of Road Transport, Orenburg State University, Orenburg, Russia

**ORCID ID:** 0000-0002-5727-4278

e-mail: raul20082008@mail.ru



**Andrey Alexandrovich Filippov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technical Operation and Car Repair, Orenburg State University, Orenburg, Russia

**ORCID ID:** 0000-0002-8957-9762

e-mail: aafilippov1979@gmail.com

**Murat Arslanovich Arslanov**, Candidate of Technical Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Road Transport, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatova, Makhachkala, Russia

e-mail: arsmurat@yandex.ru

The paper was submitted: 18.10.2019.

Accepted for publication: 22.01.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.