

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-1-52-75

УДК 656.13

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРОСТОЯ ГАЗОБАЛЛОННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ЗАПРАВКЕ КОМПРИМИРОВАННЫМ ПРИРОДНЫМ ГАЗОМ

М.В. Банкет, И.А. Эйхлер, С.А. Зырянова

Одной из проблем, возникающих в процессе эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе, являются простои связанные с заправкой моторным топливом. Учет данных простоев по времени является необходимой задачей при решении вопроса маршрутизации автотранспортных средств при перевозке грузов и пассажиров. На автотранспортных предприятиях учет данного фактора зачастую не ведется или определяется субъективно на основе опыта и интуиции. Данный факт приводит к увеличению неучтенных затрат и снижению прибыли предприятий от перевозочной деятельности.

Для решения данной проблемы авторами настоящих исследований предложена методика определения времени по наполнению автомобильного газового баллона компримированным природным газом (КПГ), учитывающая такие факторы, как давление в газовом баллоне перед наполнением, температура окружающей среды и производительность газовой колонки. Для внедрения предложенной методики в работу автотранспортных предприятий был разработан алгоритм определения времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПГ.

Представленная в статье методика и алгоритм легли в основу разработанного авторами программного продукта по определению времени на наполнение автомобильного газового баллона компримированным природным газом, позволяющий в условиях автотранспортного предприятия производить автоматический

расчет. Использование предложенного программного продукта позволит повысить производительность труда операторов, занимающихся учетом времени работы автотранспортных средств.

Цель – разработка механизма учета времени простоев автотранспортных средств при наполнении автомобильного газового баллона компримированным природным газом

Метод и методология проведения работы: в статье использовались математические методы, а также статистические методы анализа.

Результаты: разработана методика определения времени по наполнению автомобильного газового баллона компримированным природным газом, составлен алгоритм определения времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПП, разработан программный продукт по определению времени на наполнение автомобильного газового баллона компримированным природным газом

Область применения результатов: полученные результаты целесообразно применять при оперативном планировании работы автотранспортных средств на предприятиях, эксплуатирующих подвижной состав, использующий КПП в качестве моторного топлива.

Ключевые слова: природный газ; заправочная станция; время заправки, наполнение газового баллона

DEVELOPMENT OF A MECHANISM FOR DETERMINING THE DOWNTIME AT REFUELING COMPRESSED NATURAL GAS OF LPG CARS

M.V. Banket, I.A. Eychler, S.A. Zyryanova

One of the problems that arise during the operation of gas-balloon vehicles running on compressed natural gas is downtime associated with refueling with motor fuel. Accounting for downtime data is a necessary task when solving the issue of vehicle routing in the transportation of goods and passengers. At motor transport enterprises, this

factor is often not taken into account or is determined subjectively based on experience and intuition. This fact leads to an increase in unaccounted for costs and a decrease in the profits of enterprises from transportation activities.

To solve this problem, the authors of these studies proposed a method for determining the time for filling an automobile gas cylinder with compressed natural gas (CNG), taking into account factors such as pressure in the gas cylinder before filling, ambient temperature and gas column performance. To implement the proposed methodology in the work of motor transport enterprises, an algorithm was developed for determining the downtime of a gas-balloon vehicle when refueling CNG.

The methodology and algorithm presented in the article formed the basis of the software product developed by the authors for determining the time to fill an automobile gas cylinder with compressed natural gas, which allows automatic calculation in the conditions of a motor transport enterprise. The use of the proposed software product will increase the productivity of operators involved in the accounting of the operating time of vehicles.

Purpose *development of a mechanism for recording the downtime of vehicles during the transportation of an automobile gas cylinder with compressed natural gas.*

Methodology of the article: *mathematical methods, as well as statistical methods of analysis.*

Results: *A method for determining the time for filling an automobile gas cylinder with compressed natural gas has been developed, an algorithm for determining the downtime of a gas cylinder vehicle when refueling CNG has been developed, a software product has been developed for determining the time for filling an automobile gas cylinder with compressed natural gas*

Practical implications: it is advisable to apply the results obtained in the operational planning of the operation of vehicles at enterprises operating rolling stock using CNG as a motor fuel.

Keywords: *natural gas; Gas station; refueling time; filling the gas-balloon*

Введение

Экологические проблемы, возникающие из-за выбросов автомобильного транспорта оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду и человека [17, 18, 21, 22, 25]. Плотность населения, размер территорий и количества транспортных средств является основными факторами при определении влияния транспорта на экологическую обстановку того или иного региона [23].

Перевод транспортных средств на альтернативные источники энергии позволяет снизить неблагоприятное воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду и человека [24]. Всё это обуславливает увеличение интенсивности развития инфраструктуры для использования альтернативных видов моторного топлива на автомобильном транспорте.

Безусловно, альтернативные источники энергии позволят решить ряд экологических проблем [19, 27, 28], но для конкретного потребителя решающую роль при выборе топлива для автотранспортного средства (АТС) играет его стоимость [14, 20]. А такие источники энергии как природный газ и электричество выигрывают по стоимости у традиционного моторного топлива нефтяного происхождения [7, 26].

В Российской Федерации, в первую очередь в мегаполисах, развивается инфраструктура для электромобилей и электробусов. Так по информации интернет издания «Автопарк» в Москве уже эксплуатируются 600 электробусов на 45-ти городских маршрутах. К концу 2021 года их будет 1000, а в ближайшем будущем – 1600 единиц. Мэр Российской столицы Сергей Собянин сказал: «Сегодня электробусный парк Москвы самый большой в Европе и с каждым годом мы будем наращивать его объемы»[10].

Но у большинства городов России, включая города-миллионники, практически отсутствует инфраструктура, позволяющая эффективно эксплуатировать электробусы [3, 8]. С проблемой слабо развитой инфраструктуры сталкиваются не только в России, но и во многих городах зарубежных стран [13, 15, 16].

При этом в Российской Федерации активно развивается, а в большинстве крупных городов развита, инфраструктура по использованию природного газа на автомобильном транспорте.

В Российской Федерации действует ряд программ на государственном уровне по увеличению парка газобаллонных автомобилей [9]. Согласно национальному проекту «Экология» и федеральному проекту «Чистый воздух» одним из основных целевых показателей является снижение совокупного объема выбросов опасных загрязняющих веществ в городах-участниках проекта до 80% к 2024 году от показателей 2017 года. Этот показатель планируется в первую очередь достичь за счет уменьшения влияния автотранспортного комплекса на экологию городов, что будет достигнуто путем более активного использования природного газа в качестве моторного топлива. Рост объемов потребления ожидается с 43,8 млн м³ в 2018 году до 219 млн м³ в 2024 году [9]. Это способствует увеличению не только АТС работающих на природном газе, но и к дальнейшему развитию соответствующей инфраструктуры и в первую очередь за счёт строительства новых АГНКС. В настоящее время в Российской Федерации действует более 580 АГНКС [6] и это количество увеличивается.

Согласно данным УМВД ГИБДД России (рисунок 1) наблюдается незначительный рост АТС, использующих КПП в качестве моторного топлива. А общий удельный вес данных автомобилей не превышает 1% от совокупного числа.

Такой размер парка транспортных средств не позволит оказывать существенного влияния на общие экологические показатели. С точки зрения авторов статьи, главной причиной показанной динамики является недостаточно развитая инфраструктура для бесперебойной работы газобаллонных автомобилей. Так, например, в городе Омске имеются две АГНКС, сосредоточенные в одной части города (рисунок 2). Это сдерживает частных владельцев к переводу своих АТС в газобаллонные для работы на природном газе, а коммерческий транспорт, включая пассажирский, вынуждает планировать маршруты с учётом пробега на заправку до АГНКС

[2], при этом в определённые часы возникает очередь на заправку топливом на АГНКС.



Рис. 1. Удельный вес ТС, имеющих возможность использования КПП в качестве моторного топлива по данным УГИБДД УМВД России, %

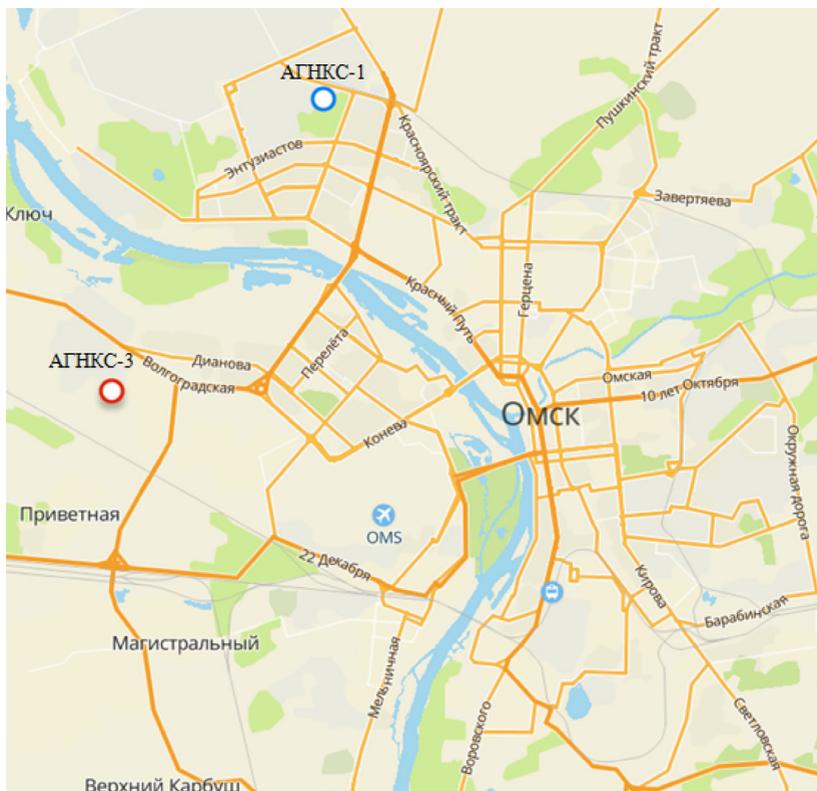
Цель работы

Недостаточно развитая инфраструктура для заправки газобаллонных автомобилей в ряде городов Российской Федерации [11, 12] не дает в полной мере реализовать экономический потенциал рассматриваемого вида топлива, так как удлинение маршрутов и увеличение времени работы автомобилей вызывают дополнительные финансовые потери, которые отсутствуют при эксплуатации автотранспортных средств на нефтяном топливе [1].

В качестве одной из основных проблем, возникающей при эксплуатации газобаллонных транспортных средств на КПП, авторы настоящих исследований считают значительное время простоя газобаллонных автомобилей при заправке сжатым природным газом, а именно ожидание наполнения газового баллона КПП.

А одним из требований при выполнении перевозок является минимизация затрат времени в пути [29].

Автовладельцы эксплуатирующие газобаллонные автомобили на жидком нефтяном топливе, включая сжиженный нефтяной газ (СУГ), затрачивают от 5 до 15 минут на заправку моторным топливом и это время включает не только налив моторного топлива, но и подготовительные операции, оплату и т.п.



АГНКС-1 – г. Омск, ул. Заводская, 17/1а

АГНКС-3 – г. Омск, ул. Долинная, 11

Рис. 2. Расположение АГНКС на территории города Омска

Это связано с физико-химическими свойствами топлив. КПП в отличие от жидких моторных топлив раздается под высоким давлением в паровой фазе. Стоит отметить, что количество КПП в га-

зовом баллоне значительно меньше количества жидкого топлива в топливном баке. Так, например, в 100 литровый баллон для КПП можно заправить не более 30 м^3 , в то время как в газовый баллон для СУГ около 80 литров, а в топливный бак для бензина и дизельного топлива 100 литров. При этом авторами экспериментально установлено, что расход 1 литра бензина эквивалентно расходу $0,87 \text{ м}^3$ КПП.

Поэтому для обеспечения запаса хода монтируют несколько газовых баллонов для КПП, что не только снижает грузоподъемность АТС, но и увеличивает время на наполнение газового баллона природным газом.

Водителям и ответственным лицам, отвечающим за учет времени АТС на маршруте необходимо учитывать время на заправку КПП. Поскольку это приводит к увеличению времени работы водителей, отклонения от графика маршрута и даже к порче груза, в случае если осуществляется перевозка скоропортящихся грузов.

Указанные факторы блокируют дальнейшее развитие использования природного газа, несмотря на государственные программы по стимулированию использования сжатого природного газа на автомобильном транспорте.

Целью настоящих исследований определение времени простоя газобаллонных автомобилей при заправке сжатым природным газом.

Гипотеза исследования: время наполнения газового баллона для КПП зависит от объёма газового баллона, давление на заправке и температуры окружающего воздуха.

Задачи исследования:

1. Установлена зависимость между давлением КПП в газовом баллоне, температурой окружающего воздуха и количеством заправляемого топлива.

2. Разработать методику определения времени на наполнение автомобильного газового баллона сжатым природным газом;

3. Разработать алгоритм определения времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПП;

4. Разработать программный продукт по определению времени на наполнение автомобильного газового баллона сжиженным природным газом.

Материалы и методы исследования

Для определения зависимости между давлением КПП в газовом баллоне и количеством заправляемого топлива необходимо оценить рабочее давление на АГНКС.

Согласно ГОСТ ISO 11439-2014 под рабочим давлением понимается установившееся давление 20 МПа при однородной температуре 15°C.

Рассмотрим технические характеристики АГНКС. В качестве параметров технических характеристик АГНКС выделяет входное давление, бар; производительность АГНКС норм. м³/час; базовый компрессорный модуль и их количество; количество заправочных постов; электрическая мощность АГНКС, кВт; количество условных заправок в сутки. При этом давление заправки регламентируется на раздаточных колонках для заправки АТС сжиженным природным газом, для колонок типа ЛПА-ГЭК производства Ленпромавтоматика и для колонок группы «Тегас» конечное давление газа, заправляемого в автомобиль 19,6 МПа (200кгс/см²).

Заправка сжиженным природным газом автомобильного газового баллона «до полного» осуществляется до тех пор пока не произойдет выравнивание давления в заправочной магистрали газобаллонного автомобиля и давления заправки, выдаваемое газовой заправочной колонкой.

Для оценки заявленной характеристики конечного давления КПП заправляемого в газобаллонный автомобиль выдаваемого газовой заправочной колонкой (давление заправки КПП) были проведены натурные наблюдения. Натурные наблюдения проведены в городе Омске на АГНКС по улице Нефтезаводская, 40 и улице Солнечная, 27. На данных АГНКС установлены раздаточные колонки типа ЛПА-ГЭК. Экспериментально определено, что подача

КПГ на раздаточной колонке АГНКС прекращается при достижении давления КПГ на манометре, установленном на газовом баллоне от 196-200 бар. Поэтому в дальнейших исследованиях давление заправки будем считать 19,6 МПа (200кгс/см²).

Для определения количества КПГ заправляемого в автомобильный газовый баллон необходимо знать емкость газового баллона, давление заправки и давление КПГ в автомобильном газовом баллоне.

Объем сжатого природного газа в автомобильном газовом баллоне определяется по формуле 1.

Объем приведен в м³.

$$V_{\text{КПГ}} = \frac{V_6 \cdot (0,968 \cdot P_{\text{КПГ}} + 1) \cdot 293 \cdot 10^{-3}}{(273 + t_{\text{КПГ}}) \cdot Z_m} \quad (1)$$

где V_6 – объем автомобильного газового баллона, л;

$P_{\text{КПГ}}$ – давление КПГ в автомобильном газовом баллоне, измеренное манометром, кгс/см²;

$t_{\text{КПГ}}$ – температура КПГ в автомобильном газовом баллоне, °С;

Z_m – коэффициент сжимаемости метана при температуре $t_{\text{КПГ}}$

Определение температуры КПГ в автомобильном газовом баллоне представляет собой сложный процесс. При заправке на АГНКС природный газ от аккумулятора (где хранится КПГ) движется через трубопровод к заправочному устройству, установленному на газобаллонном автомобиле. При этом скорость движения газового топлива увеличивается при нарастающем расширении газа, этот процесс вызывает снижение температуры КПГ. Попадая в газовый баллон, скорость движения газа снижается, при этом газовое топливо сжимается. Этот процесс вызывает нагрев газового топлива непосредственно в газовом баллоне [5]. Стоит отметить, что в процессе заправки до подачи газа непосредственно в газовый баллон, теплообмен с окружающей средой минимален. Максимальный теплообмен газового топлива происходит со стенками газового баллона установленного на газобаллонный автомобиль. При этом стенки баллона имеют температуру окружающей среды.

Повышение температуры газа влечет за собой увеличение давления газового топлива в баллоне, что в конечном итоге приводит

к окончанию процесса заправки моторным топливом [5]. Температура КПП в автомобильном газовом баллоне изменяется как в процессе заправки, так и сразу после заправки, поскольку идет теплообмен со стенками баллона.

При эксплуатации транспортного средства и расходе КПП, температура газа в автомобильном газовом баллоне снижается.

При расчетах температуры КПП в автомобильном газовом баллоне использовалась температура окружающей среды.

Коэффициент сжимаемости метана при температуре КПП определяется согласно следующих источников [4].

Время на наполнение автомобильного газового баллона компримированным природным газом, ч.

$$\tau_{\text{КПП}} = \frac{V_{\text{КПП}2} - V_{\text{КПП}1}}{Q_{\text{ск}}} \quad (2)$$

где $V_{\text{КПП}2,1}$ – объем компримированного природного газа в автомобильном газовом баллоне соответственно после и до процесса наполнения баллона, м³;

$Q_{\text{ск}}$ – производительность раздаточной колонки на АГНКС, норм. м³/час.

Производительность раздаточной колонки на АГНКС зависит от производительности самой АГНКС, количества компрессорных модулей и количества заправочных постов, для исследуемых раздаточных колонок, согласно технической характеристики, производительность составляет 250 норм. м³/час.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе расчета объема компримированного природного газа в автомобильном газовом баллоне определена зависимость между давлением КПП в газовом баллоне, температурой окружающего воздуха и количеством заправляемого топлива (КПП).

В качестве наглядного примера в настоящих научных исследованиях авторы графически представили установленную зависимость для автомобильного газового баллона для КПП объемом 100 литров. Данная зависимость представлена на рисунке 3.

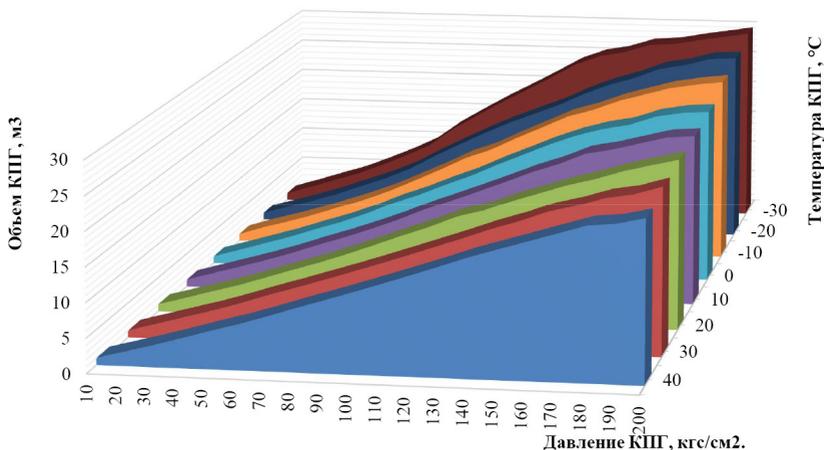


Рис. 3. Зависимость между давлением КПП в газовом баллоне, температурой окружающего воздуха и количеством заправляемого топлива для газового баллона объемом 100 литров

Увеличение температуры окружающего воздуха и соответственно температуры КПП в автомобильном газовом баллоне приводит к снижению количества заправляемого газа.

При планировании времени заправки и финансовых затрат на конкретную заправку природным газом установленная зависимость позволит определить конкретную величину количества КПП заправляемого в автомобильный газовый баллон.

На основе установленной зависимости разработана методика определения времени на наполнение автомобильного газового баллона компримированным природным газом.

На основе разработанной методики составлен алгоритм определения времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПП.

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 4.

На основе алгоритма определения времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПП авторами создан программный продукт, который позволяет определить время на наполнение автомобильного газового баллона компримированным природным газом с учетом объема автомобильного газового баллона, давления

КПГ в автомобильном газовом баллоне, температуры окружающего воздуха и производительности раздаточной колонки на АГНКС.

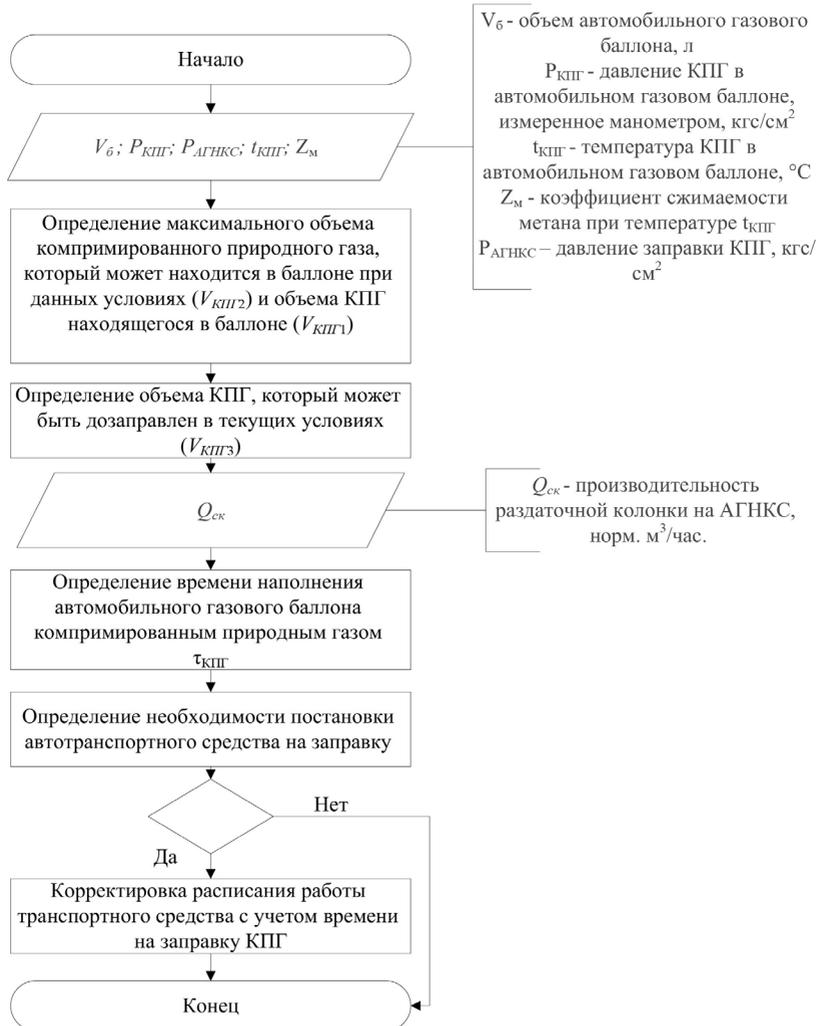


Рис. 4. Блок-схема алгоритма определения времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПГ

Пример определения времени на наполнение автомобильного газового баллона компримированным природным газом с помо-

щью разработанного программного продукта представлен на рисунке 5.

Определение времени наполнения автомобильного газового баллона

Объем автомобильного газового баллона, л	<input type="text" value="200"/>
Температура окружающего воздуха, град. (ввод значения, кратного 10)	<input type="text" value="0"/>
Давление КПП в автомобильном газовом баллоне, измеренное манометром, кгс/см ² (ввод значения, кратного 10)	<input type="text" value="20"/>
Производительность раздаточной колонки на АГНКС, норм. м ³ /час	<input type="text" value="150"/>

Время на наполнение автомобильного газового баллона КПП, мин.	<input type="text" value="19"/>
---------------------------------------------------------------	---------------------------------

Рис. 5. Фрагмент окна программного продукта по определению времени на наполнение автомобильного газового баллона КПП

Разработанный программный продукт позволит водителям и ответственным лицам, отвечающим за учет времени АТС на маршруте, учитывать время на заправку КПП. Тем самым производить учет дополнительного времени нахождения автомобиля в наряде.

Заключение

Для оценки времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПП авторами настоящих научных исследований установлена зависимость между давлением КПП в газовом баллоне, температурой окружающего воздуха и количеством заправляемого КПП в газовый баллон.

Следует отметить, что температура окружающего воздуха и давление заправки КПП оказывает значительное влияние на коли-

чество газа заправляемого в газовый баллон, но давление заправки КПП на АГНКС регламентировано, соответствует значению до 19,6 МПа и повлиять на него в большую сторону не представляется возможным. А вот температура окружающего воздуха величина переменная и при разработке технических средств по снижению температуры и увеличению теплопроводности стенок газового баллона позволит значительно повысить количество КПП, заправляемое автомобильный газовый баллон, за счет снижения температуры самого компримированного природного газа.

На основе установленной зависимости разработана методика определения времени на наполнение автомобильного газового баллона компримированным природным газом. Методика позволяет расчётным путём определить время на наполнение автомобильного газового баллона компримированным природным газом в зависимости от объёма КПП в баллоне до и после заправки на АГНКС, а также с учетом производительности раздаточной колонки на АГНКС.

Для учёта времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПП разработан алгоритм, позволяющий оценить время на наполнение автомобильного газового баллона КПП для составления рационального расписания работы АТС в условиях сложившейся инфраструктуры АГНКС.

Разработанный алгоритм лег в основу созданного авторами программного продукта по определению времени на наполнение автомобильного газового баллона КПП. Внедрение предлагаемого программного продукта на автотранспортные предприятия позволит за минимально короткие сроки вести учёт времени простоя газобаллонного автомобиля при заправке КПП на АГНКС тем самым предотвратить возможные финансовые потери, связанные с увеличением времени нахождения автомобиля в наряде

Информация о конфликте интересов. Данное исследование не получило внешнего финансирования. Авторы не заявляют о конфликте интересов. Спонсоры не играли никакой роли в разработке проекта исследования; в сборе, анализе или интерпретации данных; в написании Статьи, и в решении опубликовать результаты.

Благодарности. Авторы благодарят Жигадло Александра Петровича, ректора Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)» за административную поддержку настоящих исследований, Лукина Евгения Сергеевича, начальника станции АГНКС №3 Омск ООО «Газпром газомоторное топливо», за возможность проведения натурных наблюдений на объектах транспортной инфраструктуры, а так же рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Список литературы

1. Банкет М.В. Применение природного газа общественным автомобильным транспортом в городе Омске при условии рационального размещения газовых заправочных станций / М.В. Банкет, Д.В. Шаповал, А.С. Бакунов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 3. С. 78-82.
2. Банкет М.В. Экономическая оценка использования природного газа на коммерческом автомобильном транспорте при перевозке хлеба в городе Омске/ М.В. Банкет, Д.В. Шаповал, С.С. Войтенков // Грузовик. 2021. № 12. С. 35-42.
3. Блудян Н.О. Оценка перспективы использования электрических автобусов на городском транспорте/ Н.О. Блудян // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. 2020. № 8. С. 28-36.
4. ГОСТ 30319.1-2015 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Общие положения. Принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 27.08.2015 №79-П). Введен 01.01.2017 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200126781> (дата обращения: 28.12.2021)
5. Евдокимов Я.А. Эволюция АГНКС часть 1. Принципы эффективной АГНКС / Я.А. Евдокимов, Е.П. Лавров // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2017. Т. 16, № 5. С. 195-202.

6. Карта АГНКС России (Метан) // АГНКС.com. URL: https://agnks.com/agnks_map/ (дата обращения: 28.12.2021)
7. Мелехин Е.С. Эколого-экономическая эффективность использования природного газа в качестве моторного топлива для автотранспорта / Е.С. Мелехин, Е.С. Кузина // Микроэкономика. 2019. №1. С. 31-34.
8. Мошков В. Б. Предпосылки и тенденции развития электромобилей / В.Б.Мошков, Овчинников В.В., Баранник А. Ю. // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 2 (68). С. 14-19.
9. Паспорт национального проекта «Экология». Утвержден Президиумом Совета при Президенте Российской Федерации и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. №16) // Правительство России. URL: <http://government.ru/info/35569/> (дата обращения: 19.10.2021)
10. Проценко Л. Ежегодно Москва будет получать до 500 электробусов собственной сборки / Л. Проценко // Автопарк. URL: <https://rg.ru/2021/04/27/reg-cfo/ezhegodno-moskva-budet-poluchat-do-500-elektrobusov-sobstvennoj-sborki.html> (дата обращения: 28.12.2021)
11. Суворов А. С. Перевод российского автотранспорта на газомоторное топливо осуществляется медленно / А.С.Суворов // АвтоГазо-Заправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2019. Т.18. № 12. С. 556-557.
12. Тимирханова Л. Ф. Факторы развития рынка газомоторного топлива в регионах РФ / Л. Ф. Тимирханова, А.А. Пельменёва // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2020. № 8 (188). С. 37-46.
13. Ajanovic A., Haas R. Economic and Environmental Prospects for Battery Electric - and Fuel Cell Vehicles, A Review fuel cells. vol. 19 (5), 2019. pp. 515-529. <https://doi.org/10.1002/fuce.201800171>
14. Brazil W., Kallbekken S., Saelen H., Carroll J. The role of fuel cost information in new car sales. Transportation research part d-transport and environment, 2019, pp.93-103. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.07.022>
15. Campana M., Inga E., Cardenas J. Optimal Sizing of Electric Vehicle Charging Stations Considering Urban Traffic Flow for Smart Cit-

- ies, *Energies*, 2021. vol. 14 (16). no. 4933. <https://doi.org/10.3390/en14164933>
16. Eltoumi F.M., Becherif M., Ramadan H.S. The key issues of electric vehicle charging via hybrid power sources: Techno-economic viability, analysis, and recommendations, *Renewable & sustainable energy reviews*, 2021. vol. 138. 110534. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110534>
 17. Enzmann J., Ringel M. Reducing Road Transport Emissions in Europe: Investigating A Demand Side Driven Approach, *Sustainability*, 2020. vol. 12 (18). 7594. <https://doi.org/10.3390/su12187594>
 18. Ghorbani E., Alinaghian M., Perboli G. A. Survey on Environmentally Friendly Vehicle Routing Problem and a Proposal of Its Classification, *Sustainability*, 2020 . vol. 12 (21). pp. 1-72. <https://doi.org/10.3390/su12219079>
 19. Likhanov V., Lopatin O. Biofuels or smoking cars? // *Theoretical and applied ecology*, 2021, pp. 228-236.
 20. Linzenich A.; Arning K.; Zieffle M. What fuels the adoption of alternative fuels? Examining preferences of German car drivers for fuel innovations // *Applied energy*, 2019, pp. 222-236. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.041>
 21. Ma Q.F., Jia P., Kuang H.B. Green efficiency changes of comprehensive transportation in China: Technological change or technical efficiency change? // *Journal of cleaner production*, 2021, vol. 304 (1), 127115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127115>
 22. Makarova I., Buyvol P., Shubenkova K. Usage of Microscopic Simulation to Estimate the Environmental Impact of Road Transport // *International Scientific Conference on LOGI - Horizons of Autonomous Mobility in Europe*, 2020, vol. 44, pp. 86-93.
 23. Munoz-Villamizar A., Santos, J., Velazquez-Martinez J.C. Measuring environmental performance of urban freight transport systems: A case study // *Sustainable cities and society*, 2020, vol. 52, no. 101844. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101844>
 24. Navas-Anguita Z., Garcia-Gusano D., Iribarren D. A review of techno-economic data for road transportation fuels // *Renewable & sus-*

- tainable energy reviews, 2019, pp.11-26. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.041>
25. Palander T., Haavikko H. Karha K. Comparison of Energy Efficiency Indicators of Road Transportation for Modeling Environmental Sustainability in «Green» Circular Industry // Sustainability, 2020, vol. 12 (7), no. 2740. <https://doi.org/10.3390/su12072740>
 26. Parker N.; Breetz H.; Patterson M. Who saves money buying electric vehicles? Heterogeneity in total cost of ownership // Transportation research part d-transport and environment, 2021, vol. 96, no. 102893. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102893>
 27. Petrunko K., Sazonov S. China develops the production of «green» cars, using hydrogen fuel // Annual Scientific Conference of the Centre-for-Political-Research-and-Prognosis of the Institute-of-Far-Eastern-Studies of the Russian Academy of Sciences (IFES RAS), 2020, pp.174-184.
 28. Schluter J., Weyer J. Car sharing as a means to raise acceptance of electric vehicles: An empirical study on regime change in automobility // Transportation research part f-traffic psychology and behaviour, 2019, pp.185-201. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.09.005>
 29. Voytenkov S., Akifeva I., Banket M., Shapoval D. Ways of coordinating schedules in regional passenger traffic // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICI2AE 2019, 2019, no. 012038.

References

1. Banket M.V. Bakunov A.S. Primenenie prirodnogo gaza obshchestvennym avtobusnym transportom v gorode Omske pri uslovii ratsional'nogo razmeshcheniya gazovykh zapravochnykh stantsiy [The use of natural gas by public bus transport in the city of Omsk, subject to the rational placement of gas filling stations]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intelligence. Innovation. Investments], 2017, no. 3, pp. 78-82.
2. Banket M.V. Shapoval D.V. Voytenkov S.S. Ekonomicheskaya otsenka ispol'zovaniya prirodnogo gaza na kommercheskom avtomobil'nom

- transporte pri perevozke khleba v gorode Omske [Economic assessment of the use of natural gas in commercial road transport for the transportation of bread in the city of Omsk]. *Gruzovik* [Truck], 2021, no. 12, pp. 35-42.
3. Bludyan N.O. Otsenka perspektivy ispol'zovaniya elektricheskikh avtobusov na gorodskom transporte [Assessment of the prospects for the use of electric buses in urban transport]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie. nauchnyy informatsionnyy sbornik* [Transport: science, technology, management. scientific information collection], 2020, no 8, pp. 28-36.
 4. GOST 30319.1-2015 Gaz prirodnyy. Metody rascheta fizicheskikh svoystv. Obschie polozheniya. [Natural gas. Methods for calculating physical properties. General provisions.]. *Elektronnyy fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov* [Electronic fund of legal and normative-technical documents]. <https://docs.cntd.ru/document/1200126781> (accessed December 28, 2021).
 5. Evdokimov Ya.A. Lavrov E.P. Evolyutsiya AGNKS chast' 1. Printsipy effektivnoy AGNKS [CNG station Evolution Part 1. Principles of Efficient CNG station]. *AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al'ternativnoe toplivo* [Autogas filling complex + Alternative fuel], 2017, vol. 16, no. 5, pp. 195-202
 6. Karta AGNKS Rossii (Metan) [CNG station map of Russia (Methane)] *AGNKS.com*. https://agnks.com/agnks_map/ (accessed December 28, 2021).
 7. Melekhin E.S. Kuzina E.S. Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost' ispol'zovaniya prirodnogo gaza v kachestve motornogo topliva dlya avtotransporta [Ecological and economic efficiency of using natural gas as a motor fuel for vehicles]. *Mikroekonomika* [Microeconomics], 2019, no. 1, pp. 31-34.
 8. Moshkov V. B. Ovchinnikov V.V., Barannik A. Yu. Predposylki i tendentsii razvitiya elektromobiley [Background and trends in the development of electric vehicles]. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti* [Civil Security Technologies], 2021, no. 2 (68), pp. 14-19.
 9. Passport natsional'nogo proekta «Ekologiya» [Passport of the national project «Ecology»]. Pravitel'stvo Rossii [Russian Government]. <http://government.ru/info/35569/> (accessed October 19, 2021).

10. Protsenko L. Ezhegodno Moskva budet poluchat' do 500 elektrobusev sobstvennoy sborki [Moscow will receive up to 500 electric buses of its own assembly annually]. *Avtopark*. <https://rg.ru/2021/04/27/reg-cfo/ezhegodno-moskva-budet-poluchat-do-500-elektrobusev-sobstvennoj-sborki.html> (accessed December 28, 2021).
11. Suvorov A. S. Perevod rossiiskogo avtotransporta na gazomotornoe toplivo osushchestvlyetsya medlenno [The transition of Russian transport to natural gas is slow]. *AvtoGazoZapravochnyy kompleks + Al'ternativnoe toplivo* [Autogas filling complex + Alternative fuel], 2019, vol.18, no. 12, pp. 556-557.
12. Timirkhanova L. F. A.A. Pel'meneva Faktory razvitiya rynka gazomotor-nogo topliva v regionakh RF [Factors of development of the gas motor fuel market in the regions of the Russian Federation]. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom* [Problems of economics and management of the oil and gas complex], 2020, no. 8 (188), pp. 37-46.
13. Ajanovic A., Haas R. Economic and Environmental Prospects for Battery Electric - and Fuel Cell Vehicles. *A Review fuel cells*, 2019, vol. 19 (5), pp. 515-529. <https://doi.org/10.1002/fuce.201800171>
14. Brazil W., Kallbekken S., Saelen H., Carroll J. The role of fuel cost information in new car sales. *Transportation research part d-transport and environment*, 2019, pp. 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.07.022>
15. Campana M., Inga E., Cardenas J. Optimal Sizing of Electric Vehicle Charging Stations Considering Urban Traffic Flow for Smart Cities. *Energies*, 2021, vol. 14 (16), no. 4933. <https://doi.org/10.3390/en14164933>
16. Eltoumi F.M., Becherif M., Ramadan H.S. The key issues of electric vehicle charging via hybrid power sources: Techno-economic viability, analysis, and recommendations. *Renewable & sustainable energy reviews*, 2021, vol. 138, no. 110534. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110534>
17. Enzmann J., Ringel M. Reducing Road Transport Emissions in Europe: Investigating A Demand Side Driven Approach. *Sustainability*, 2020 . vol. 12 (18) no. 7594. <https://doi.org/10.3390/su12187594>

18. Ghorbani E., Alinaghian M., Perboli G. A. Survey on Environmentally Friendly Vehicle Routing Problem and a Proposal of Its Classification. *Sustainability*, 2020, vol. 12 (21), pp. 1-72. <https://doi.org/10.3390/su12219079>
19. Likhanov V., Lopatin O. Biofuels or smoking cars? Theoretical and applied ecology, 2021, pp. 228-236.
20. Linzenich A.; Arning K.; Ziefle M. What fuels the adoption of alternative fuels? Examining preferences of German car drivers for fuel innovations. *Applied energy*, 2019, pp.222-236. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.041>
21. Ma Q.F., Jia P., Kuang H.B. Green efficiency changes of comprehensive transportation in China: Technological change or technical efficiency change? *Journal of cleaner production*, 2021, vol. 304, no. 127115. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127115>
22. Makarova I., Buyvol P., Shubenkova K. Usage of Microscopic Simulation to Estimate the Environmental Impact of Road Transport. *International Scientific Conference on LOGI - Horizons of Autonomous Mobility in Europe*, 2020, vol. 44, pp. 86-93.
23. Munoz-Villamizar A., Santos, J., Velazquez-Martinez J.C. Measuring environmental performance of urban freight transport systems: A case study. *Sustainable cities and society*, 2020, vol. 52, no. 101844. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101844>
24. Navas-Anguita Z., Garcia-Gusano D., Iribarren D. A review of techno-economic data for road transportation fuels. *Renewable & sustainable energy reviews*, 2019, pp. 11-26. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.041>
25. Palander T., Haavikko H. Karha K. Comparison of Energy Efficiency Indicators of Road Transportation for Modeling Environmental Sustainability in “Green” Circular Industry. *Sustainability*, 2020, vol. 12 (7), no. 2740. <https://doi.org/10.3390/su12072740>
26. Parker N.; Breetz H.; Patterson M. Who saves money buying electric vehicles? Heterogeneity in total cost of ownership. *Transportation research part d-transport and environment*, 2021, vol. 96, no. 102893. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2021.102893>

27. Petrunko K., Sazonov S. China develops the production of “green” cars, using hydrogen fuel. *Annual Scientific Conference of the Centre-for-Political-Research-and-Prognosis of the Institute-of-Far-Eastern-Studies of the Russian Academy of Sciences (IFES RAS)*, 2020, pp.174-184.
28. Schluter J., Weyer J. Car sharing as a means to raise acceptance of electric vehicles: An empirical study on regime change in automobility. *Transportation research part f-traffic psychology and behaviour*, 2019, pp. 185-201. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.09.005>
29. Voytenkov S., Akifeva I., Banket M., Shapoval D. Ways of coordinating schedules in regional passenger traffic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICI2AE 2019*, 2019, no. 012038.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Банкет Михаил Викторович, декан факультета «Автомобильный транспорт», доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей», канд. техн. наук, доцент
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»
проспект Мира, 5, г. Омск, 644080, Российская Федерация
mikhail_banket@mail.ru*

Эйхлер Иван Андреевич, доцент кафедры «Логистика», факультет «Экономики и управления», канд. эконом. наук
*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»
проспект Мира, 5, г. Омск, 644080, Российская Федерация
vaniaeichler@gmail.com*

Зырянова Светлана Анатольевна, заведующий кафедрой «Автоматизированные системы и цифровые технологии», факультет «Информационные системы в управлении», канд. техн. наук, доцент

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»
проспект Мира, 5, г. Омск, 644080, Российская Федерация
svetazyr55@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Mikhail V. Banket, dean of the faculty “Automobile transport”, associate professor of the department “Operation and repair of automobiles”, faculty “Automobile transport”, cand. tech. sciences, associate professor

*Siberian State Automobile and Highway University
5, Prospekt Mira, Omsk, Russia, 644080, Russian Federation
mikhail_banket@mail.ru*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1901-8150>

ResearcherID: AAV-5959-2021

Scopus Author ID: 57212171363

Ivan A. Eychler, Associate Professor of the Department of Logistics, Faculty of Economics and Management, cand. economy sciences

*Siberian State Automobile and Highway University
5, Prospekt Mira, Omsk, Russia, 644080, Russian Federation
vaniaeichler@gmail.com*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4681-8468>

Svetlana A. Zyryanova, head of the department «Automated systems and digital technologies», faculty «Information systems in management», cand. tech. sciences, associate professor

*Siberian State Automobile and Highway University
5, Prospekt Mira, Omsk, Russia, 644080, Russian Federation
svetazyr55@mail.ru*

Поступила 27.01.2022

После рецензирования 15.02.2022

Принята 20.02.2022

Received 27.01.2022

Revised 15.02.2022

Accepted 20.02.2022