

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Д. А. Дрючин¹, С. В. Горбачёв²

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹ e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

² e-mail: avtog12@mail.ru

Аннотация. Автомобильный транспорт играет важнейшую роль в жизни современного общества, удовлетворяя транспортные потребности практически всех отраслей экономики и населения. Массовая автомобилизация привела к возникновению ряда проблем, острота которых возрастает с каждым днём. Наиболее актуальными являются проблемы, обусловленные отрицательным воздействием автотранспорта на окружающую среду, и проблемы, связанные с выделением парниковых газов, приводящих к изменению климата в планетарных масштабах.

По мнению многих специалистов, одним из наиболее сложных и перспективных методов, позволяющих снизить остроту обозначенных проблем, является применение сжиженного природного газа в качестве автомобильного топлива.

Научные и прикладные разработки в указанном направлении во многом носят инновационный характер. Оценка технико-экономических показателей их практической реализации позволит определить область эффективного применения и выявить ключевых потребителей данной топливно-энергетической схемы.

Целью проводимого исследования является повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе результатов анализа технико-экономических показателей применения сжиженного газа, в качестве автомобильного топлива.

Достижение обозначенной цели обеспечивается за счёт решения таких задач, как: анализ технологических и технико-экономических параметров применения сжиженного метана; разработка алгоритма проведения технико-экономического анализа, формализация входных данных и параметров; апробация разработанного алгоритма на практике, получение результатов технико-экономического анализа; обобщение полученных результатов, формулирование выводов и практических рекомендаций.

Ввиду отсутствия накопленного опыта практической эксплуатации автотранспортных средств с использованием сжиженного метана, в работе применены методы математического моделирования объекта исследования и многокритериального анализа, проведённого в отношении данных, полученных по результатам моделирования.

Основным результатом исследования является установленная многомерная область, определяемая сочетанием таких ключевых параметров, как стоимость топлива, стоимость транспортного средства, его годовой пробег и др.

Указанные многомерные области составляют научную новизну результатов выполненного исследования. Наложение выявленной многомерной области на область, сформированную на основе анализа структурных параметров регионального парка автотранспортных средств, позволяет определить ключевых потребителей и сформировать данные, необходимые для определения инфраструктурных параметров, обеспечивающих реализацию рассматриваемой технологии.

Одним из перспективных направлений дальнейших исследований в рамках обозначенной тематики является разработка методики формирования инфраструктурных параметров, обеспечивающих эффективное применение сжиженного метана в качестве автомобильного топлива.

Ключевые слова: газомоторное топливо, сжиженный газ, метан, техническая эксплуатация автомобилей, технико-экономические показатели, автотранспортное средство, автотранспортное предприятие.

Для цитирования: Дрючин Д. А., Горбачёв С. В. Технико-экономический анализ применения сжиженного природного газа на автомобильном транспорте // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2022. – № 4. – С. 116–127, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-116>.

TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THE USE OF LIQUEFIED NATURAL GAS IN ROAD TRANSPORT

D. A. Dryuchin¹, S. V. Gorbachev²

Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹ e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

² e-mail: avtogl2@mail.ru

Abstract. Road transport plays an important role in the life of modern society, satisfying the transport needs of almost all sectors of the economy and the population. Mass motorization has led to a number of problems, the severity of which is increasing every day. The most urgent problems are caused by the negative impact of motor transport on the environment and the problems associated with the release of greenhouse gasses that lead to climate change on a planetary scale.

According to many experts, one of the most difficult and one of the most promising methods to reduce the severity of these problems is the use of liquefied natural gas as an automobile fuel.

Scientific and applied developments in this direction are largely innovative in nature. Assessment of technical and economic indicators of their practical implementation will determine the area of effective application and identify key consumers of this fuel and energy scheme.

The purpose of the study is to improve the efficiency of the operation of motor vehicles based on the results of the analysis of technical and economic indicators of using liquefied gas as an automobile fuel.

The achievement of the designated goal is ensured by solving such tasks as analysis of technological and technical and economic parameters of the use of liquefied methane; development of an algorithm for conducting technical and economic analysis, formalization of input data and parameters; testing of the developed algorithm in practice, obtaining the results of technical and economic analysis; generalization of the results obtained, formulation of conclusions and practical recommendations.

Due to the lack of accumulated experience in the practical operation of vehicles using liquefied methane, the methods of mathematical modeling of the object of study and multi-criteria analysis conducted with respect to the data obtained from the results of modeling are applied in the work.

The main result of the study is an established multidimensional domain determined by a combination of key parameters such as fuel cost, vehicle cost, its annual mileage and other parameters.

These multidimensional areas constitute the scientific novelty of the results of the performed research. The overlay of the identified multidimensional area on the area formed on the basis of the analysis of the structural parameters of the regional fleet of vehicles allows you to identify key consumers and generate the data necessary to determine the infrastructure parameters that ensure the implementation of the technology in question.

One of the promising areas of further research within the framework of the designated topic is the development of a methodology for the formation of infrastructure parameters that ensure the effective use of liquefied methane as an automobile fuel.

Key words: gas engine fuel, liquefied gas, methane, technical operation of cars, technical and economic indicators, motor vehicle, motor company.

Cite as: Dryuchin, D. A., Gorbachev, S. V. (2022) [Technical and economic indicators of the use of liquefied natural gas in road transport]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 4, pp. 116–127, <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-4-116>.

Введение

Автомобильный транспорт является одной из ключевых отраслей современного общества. Эксплуатация мирового автопарка требует привлечения значительного объёма трудовых ресурсов и связана с потреблением колоссальных объёмов углеводородных топлив. В общем объёме мирового потребления нефти на долю автомобильного транспорта приходится около 65%, в развитых странах – 70–80 %. Сжигание такого количества углеводородов неизбежно порождает целый комплекс экологических и климатических проблем.

Одним из методов снижения отрицательного

воздействия автотранспорта на окружающую среду является применение метана взамен более тяжёлых, насыщенных углеродом жидких топлив.

Метан – лёгкое углеводородное соединение, при нормальных температурах не переходит в жидкое состояние, даже при высокой степени сжатия. Такая особенность его физических свойств порождает ряд проблем, к числу которых относятся: ограниченный запас хода транспортных средств; необходимость использования батареи толстостенных баллонов, обладающих значительной массой; потенциальная опасность взрыва баллона с газом, имеющим давление до 25 Мпа.

Одной из перспективных технологий, в значительной степени решающей обозначенные проблемы, является технология применения сжиженного природного газа (СПГ) в качестве автомобильного топлива. СПГ получают путём охлаждения метана до $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$. В процессе перехода в жидкое состояние плотность газа увеличивается почти в 600 раз, что в значительной мере упрощает задачу хранения и транспортировки. В сочетании со сравнительно низким весом криогенных баков (в сравнении с баллонами КПП) данная особенность обеспечивает значительно больший запас хода транспортного средства на одной заправке.

В настоящее время на КамАЗе, в рамках государственного контракта, ведётся работа над созданием предсерийных моделей автомобилей и автобусов, работающих на СПГ. На шасси автомобиля КамАЗ изготовлен опытный образец заправщика СПГ.

Основным недостатком СПГ-технологий является высокая стоимость газобаллонного оборудования и самого сжиженного газа (по сравнению с КПП). В себестоимости производства СПГ на процессы сжижения и регазификации приходится до 40% от объёма общих затрат. Но в данной области отмечен существенный прогресс – за последние 30 лет стоимость производства СПГ снизилась в два раза.

Исходя из вышеизложенного, можно утверждать, что нерешённая проблема низких экономических показателей является ключевым фактором, сдерживающим развитие и широкое применение СПГ на автомобильном транспорте. Научная проблема может быть сформулирована, как отсутствие достоверных данных, позволяющих определить область эффективного применения данного вида топлива.

Исследование данной проблемы, определение области эффективного применения сжиженного метана, является основной задачей, решаемой в ходе проводимого исследования.

Обзор литературы по теме исследования

Использование сжиженного метана многими исследователями рассматривается как наиболее перспективное технологическое решение, во многом позволяющее решить наиболее актуальные проблемы, препятствующие более широкому распространению газомоторных топлив. Кроме того, использование сжиженного метана, в некоторых случаях, рассматривается, как промежуточный этап разработки технологии применения водорода в качестве автомобильного топлива.

Исследованию и описанию особенностей применения СПГ на автомобильном транспорте посвящены труды Н. Г. Кириллова, Д. Ю. Жувакина, М. В. Славина и других авторов [5, 6, 7, 11]. В рассмотренных работах освещены технологические особенности производства, транспортировки и применения сжиженного природного газа в различных отраслях, в том числе, на автомобильном транспорте. Рассмотрена роль и перспективы СПГ на рынке энергоносителей, их преимущества и недостатки, определяющие его значение для мировой экономики.

Но, следует отметить, что ключевыми условиями, определяющими целесообразность применения СПГ у конкретного потребителя, являются положительный экономический эффект и приемлемые сроки окупаемости инвестиций. Проведённый литературный обзор позволил сделать заключение о том, что применительно к отрасли автомобильного транспорта не указана область эффективного применения СПГ, определяемая условиями и особенностями эксплуатации транспортных средств. [12, 13, 16]. Определение данной области является необходимым условием, позволяющим выявить структуру парка ключевых потребителей, что, в свою очередь, позволяет определить проектные параметры инфраструктуры, необходимой для массового внедрения рассматриваемого вида топлива.

Для заполнения обозначенного пробела знаний рассмотрены научные работы, посвящённые анализу экономической эффективности эксплуатации автотранспортных средств, оценке эффективности инвестиций в сфере автомобильного транспорта. Изучены работы О. Ю. Матанцевой, А. А. Белогребня, И. В. Спирина, С. В. Горбачёва, А. К. Ардова и других авторов, рассмотрены нормативные и распорядительные документы, затрагивающие изучаемые вопросы¹ [1, 3, 6, 8, 15, 14, 4].

Исходя из обозначенной проблемы и выявленного пробела в рассматриваемой предметной области, сформулирована цель исследования: повышение эффективности эксплуатации автотранспортных средств на основе результатов анализа технико-экономических показателей применения сжиженного газа, в качестве автомобильного топлива.

Теоретическая часть исследования

Для достижения поставленной цели разработана математическая модель процесса эксплуатации автотранспортных средств. Входными параметрами данной модели являются показатели, характеризующие условия эксплуатации транспортных средств

¹ Порядок определения начальной (максимальной) цены контракта, а также цены контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), при осуществлении закупок в сфере регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом. Утверждён Приказом Министерства транспорта РФ от 20.10.2021 г. № 351. – М.: Проспект; СПб. : Кодекс, 2021. – 60 с.

и технико – экономические параметры внешней среды. Выходными параметрами являются технико-экономические показатели, характеризующие эффективность эксплуатации автотранспортных средств.

По результатам моделирования проводится сравнительный анализ технико-экономических показателей применения различных видов топлива (в том числе и СПГ) в идентичных условиях эксплуатации. Поочерёдное дискретное изменение исследуемых входных параметров позволяет определить оптимальную область применения СПГ, характеризующую более высокими показателями эффективности эксплуатации автотранспортных средств.

На предварительном этапе исследования принята гипотеза, что наиболее вероятным ключевым потребителем СПГ является городской общественный транспорт. Данное предположение обусловлено высокой интенсивностью эксплуатации автотранспортных средств и их локализацией в непосредственной близости от инфраструктурных объектов газозаправочной сети.

Анализ работы пассажирского транспорта в Российской Федерации, а также обзор зарубежного опыта организации пассажирских перевозок показывают, что при социально-ориентированных тарифах данный вид деятельности является нерентабельным и дотируется из бюджетов различных уровней. Как правило, за счёт дотаций покрывается не только значительная часть эксплуатационных расходов, но и расходы на развитие транспортной инфраструктуры и приобретение подвижного состава.

Применительно к системе городского общественного транспорта, определение областей эффективного применения той или иной топливно-энергетической схемы позволит повысить эффективность расходования бюджетных средств как на этапе осуществления единовременных затрат на приобретение подвижного состава, так и на этапе определения размера дотаций при их эксплуатации. При этом, минимизируемый параметр – себестоимость перевозки одного пассажира может быть определён по формуле:

$$S_{\text{пасс}} = \frac{Z_{\text{ОБЩ}}}{Q_{\text{пасс}}}, \quad (1)$$

где

$Z_{\text{ОБЩ}}$ – общие затраты на производство транспортной работы, руб.;

$Q_{\text{пасс}}$ – выполненная транспортная работа, пасс.

Исходя из поставленной цели, транспортная работа принимается в качестве постоянной величины и может быть выведена за рамки исследования. Ве-

личина общих затрат принимается в качестве целевой функции, которая может быть определена по формуле:

$$Z_{\text{ОБЩ}} = E_{\text{ОИ}}(K_{\text{ОИ}} - C_{\text{ОИ}}^{\text{свб}}) + \mathcal{E}_{\text{ОИ}} + E_{\text{ПС}}(K_{\text{ПС}} - C_{\text{ПС}}^{\text{свб}}) + \mathcal{E}_{\text{ПС}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где

$E_{\text{ОИ}}$ – коэффициент эффективности капитальных вложений в объекты заправочной инфраструктуры;

$K_{\text{ОИ}}$ – первоначальные капитальные вложения в объекты заправочной инфраструктуры, руб.;

$C_{\text{ОИ}}^{\text{свб}}$ – субсидии на строительство объектов заправочной инфраструктуры, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{ОИ}}$ – ежегодные текущие расходы на эксплуатацию объектов заправочной инфраструктуры, руб.;

$E_{\text{ПС}}$ – коэффициент эффективности капитальных вложений в подвижной состав;

$K_{\text{ПС}}$ – первоначальные капитальные вложения в подвижной состав, руб.;

$C_{\text{ПС}}^{\text{свб}}$ – размер субсидий на приобретение подвижного состава, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{ПС}}$ – ежегодные текущие расходы на эксплуатацию подвижного состава, руб.

Очевидно, что наиболее эффективная топливно-энергетическая схема соответствует минимальному значению данной функции.

Значимой составляющей инвестиционных вложений при внедрении СПГ на транспорте, по сравнению с обычными видами топлива, являются затраты на газозаправочное оборудование. Компоненты системы СПГ включают резервуар хранения СПГ, насос для подачи СПГ и топливозаправочные устройства.

Показатели текущих эксплуатационных расходов являются наиболее информативными, так как отражают не только экономическую сторону

процесса, но и его технологический и организационный уровни. Затраты перевозчиков включают в себя расходы по основным видам деятельности, которые могут быть условно разделены на прямые и косвенные.

В составе прямых расходов учитывают: расходы на оплату труда водителей и работников, выполняющих обязанности кондуктора в транспортных средствах; отчисления на социальные нужды от величины расходов на оплату труда водителей и кондукторов; расходы на топливо и силовую энергию; расходы на смазочные и прочие эксплуатационные

материалы; расходы на износ и ремонт шин подвижного состава; расходы на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава; амортизацию подвижного состава; прочие расходы по обычным видам деятельности.

В состав косвенных расходов включены: накладные, управленческие и коммерческие расходы.

Данная группировка основана на объединении затрат по местам их возникновения или производственному назначению. Кроме этого расходы в зависимости от объёма производства классифицируются на условно-переменные и условно-постоянные.

Условно-постоянные расходы не зависят от объёма перевозок в короткие промежутки времени, они по своей экономической природе являются расходами на создание условий для конкретной деятельности. К ним можно отнести расходы по содержанию зданий и заправочных комплексов, амортизацию подвижного состава, оплату труда руководителей и специалистов, а также оплату труда водителей и кондукторов с отчислениями на социальные нужды.

Условно-переменные расходы находятся в прямой зависимости от объемов перевозок и обычно определяются этим объемом. К ним относятся расходы на топливо и силовую энергию, расходы на смазочные материалы и износ шин подвижного состава, расходы на запасные части, материалы и заработную плату работников, осуществляющих техническое обслуживание и ремонт подвижного состава. Очевидно, что при эксплуатации транс-

портных средств на газомоторном топливе возникают дополнительные затраты, связанные с обслуживанием и ремонтом газобаллонного оборудования, что учтено разработанной методикой.

Выполненные аналитические исследования показывают, что расходы на топливо и силовую энергию, расходы на заработную плату персонала, а также затраты на содержание и эксплуатацию газозаправочных комплексов имеют наибольший удельный вес в структуре себестоимости перевозочного процесса.

Внедрение предлагаемой методики, наряду с другими задачами, позволит определить точку безубыточности перевозочного процесса в зависимости от размера субсидий на строительство объектов транспортной инфраструктуры и приобретение подвижного состава.

Наиболее динамичным фактором целевой функции, описываемой выражением 2, являются ежегодные текущие расходы на эксплуатацию подвижного состава. В конечном итоге именно этот фактор оказывает ключевое влияние на использование той или иной топливно-энергетической схемы конкретного перевозчика. Следовательно, данный фактор оказывает решающее влияние на структуру парка ключевых потребителей.

С позиции предприятия перевозчика изменение существующей топливно-энергетической схемы, как правило, связано с необходимостью инвестирования данного мероприятия. Эффективность таких инвестиций определяется из выражения [7]:

$$\mathcal{E}_K = (\sum Z_{ГАЗ} - \sum Z_{Т.ТОП}) - K \cdot E_H, \quad (3)$$

где $\sum Z_{ГАЗ}$ – общие годовые затраты при эксплуатации транспортных средств на газомоторном топливе, р.;
 $\sum Z_{Т.ТОП}$ – общие годовые затраты при эксплуатации транспортных средств на традиционном топливе, р.;
 K – объём инвестиций, направленных на перевод парка транспортных средств на газомоторное топливо, р.;
 E_H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

Общие годовые затраты рассчитываются в соответствии с типовой методикой расчёта себестоимости автомобильных перевозок. Объём инвестиций (величина «К» в выражении 3) зависит от множества составляющих, определяемых технологическими особенностями рассматриваемых газотопливных систем и требованиями действующих нормативов. Для решения одной из поставленных задач разработан алгоритм оценки эффективности внедрения инновационных топливно-энергетических схем в заданных условиях. Алгоритм включает в себя последовательный циклический расчёт: объёма капиталовложений, необходимых для внедрения рассматриваемой топливно-энергетической схемы; расчёт условно-постоянных и условно-переменных затрат, расчёт показателей эффективности капиталовложений и сравнительный анализ рас-

смотренных вариантов. Блок – схема данного алгоритма представлена на рисунке 1.

В соответствии с представленным алгоритмом составлена электронная таблица Microsoft Excel, реализующая рассматриваемую часть разработанной математической модели. Проведено исследование влияния ключевых эксплуатационных, технических и экономических факторов на эффективность применения сжиженного природного газа в качестве топлива при эксплуатации автобусов на городских регулярных маршрутах.

Городской пассажирский транспорт, как правило, достаточно интенсивно эксплуатируется на ограниченной городской территории на низких скоростях, вследствие этого, основные параметры, определяющие интенсивность эксплуатации, приняты в качестве постоянных величин.

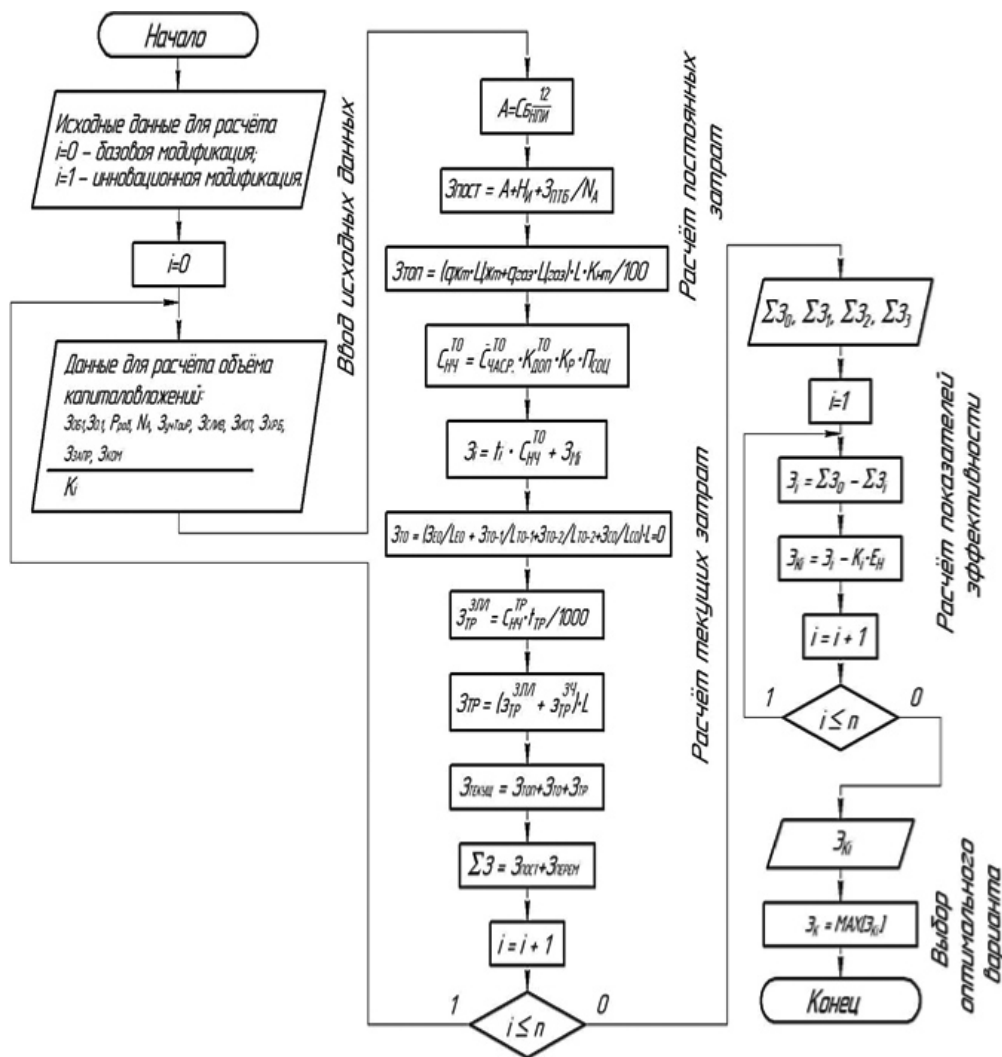


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма оценки эффективности внедрения инновационных топливно-энергетических схем

Источник: разработано авторами

В качестве исследуемых приняты ключевые факторы, определяемые условиями и интенсивностью эксплуатации: стоимость топлива, объём инвестиционных вложений, необходимых для внедрения инновационной схемы топливно-энергетического обеспечения, и общий годовой пробег.

Экспериментальные исследования

Для оценки эффективности применения сжиженного природного газа на городских автобусных маршрутах в качестве постоянных величин приняты следующие параметры:

- коэффициент выпуска – $\alpha_g = 0,85$;
- средний годовой пробег одного автобуса – $L_{год} = 62000$ км;
- средняя эксплуатационная скорость – $V_{экс} = 20$ км/ч;
- количество рабочих дней в году – $DP_{год} = 365$ дней;

- среднее время в наряде – $T_{см} = 12$ ч;
- стоимость дизельного топлива (опт) – $C_{дт} = 42$ руб/л;
- стоимость КПГ (опт) – $C_{кпг} = 19,5$ руб/м³;
- стоимость СПГ (прогнозируемая цена на АЗС) – $C_{спг} = 26,8$ руб/л.

В настоящее время на городских автобусных маршрутах, как правило, эксплуатируются транспортные средства с двумя типами силовых установок: дизельными двигателями и двигателями, работающими на компримированном природном газе. Исходя из этого, рассмотрены два варианта: внедрение транспортных средств с газотопливными системами СПГ взамен транспортных средств, оснащённых дизельными двигателями, и взамен транспортных средств, оснащённых газотопливными системами КПГ.

В качестве исследуемых моделей транспортных средств были приняты автобусы, предсерийные

модификации которых оснащены газотопливными системами СПГ. Базовые модели автобусов и их модификации, принятые для исследования, с указанием технико-экономических характеристик, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики исследуемых моделей автотранспортных средств

Модель транспортного средства	Модификация	Технико-экономические характеристики		
		базовая стоимость единицы, руб.	расход топлива, л(м ³)/100км	доп. затраты на ТО и ТР ГБО, руб./1000 км
ЛИАЗ-529267	Диз. топ.	8 247 000	41,3	0
	КПГ	9 268 000	33,0*	326
	СПГ	9 227 000	48,9	274
МАЗ-203945	Диз. топ.	12 828 000	41,5	0
	КПГ	15 256 000	33,2*	410
	СПГ	15 184 000	49,2	308
НЕФАЗ-5299	Диз. топ.	10 300 000	32,2	0
	КПГ	13 938 120	25,8*	354
	СПГ	13 847 000	38,2	274

* единица измерения расхода компримированного природного газа – м³/100км
 Источник: разработано авторами

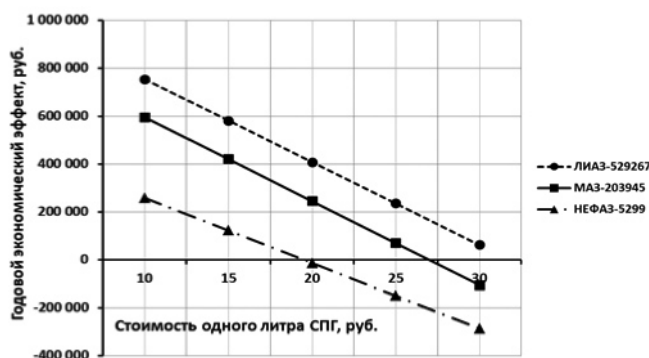


Рисунок 2. Зависимости годового экономического эффекта при переводе транспортных средств с дизельного топлива на сжиженный природный газ от стоимости одного литра сжиженного природного газа
 Источник: разработано авторами

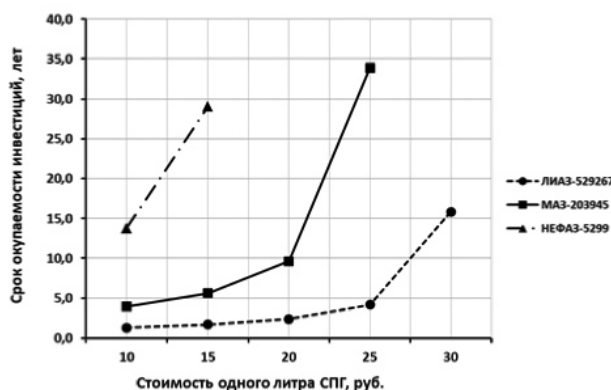


Рисунок 3. Зависимости срока окупаемости инвестиций при переводе транспортных средств с дизельного топлива на сжиженный природный газ от стоимости одного литра сжиженного природного газа
 Источник: разработано авторами

В соответствии с разработанным планом экспериментальных исследований, на первом этапе выполнена сравнительная оценка показателей экономической эффективности эксплуатации городских автобусов на дизельном топливе и на сжиженном природном газе. По результатам сравнительной оценки получены зависимости годовой экономической эффективности внедрения транспортных средств с газотопливными системами СПГ взамен автобусов, оснащённых дизельными двигателями и срока окупаемости инвестиций, необходимых для реализации данного мероприятия от стоимости одного литра СПГ. Данные зависимости приведены на рисунках 2 и 3.

Исходя из экономической и экологической привлекательности транспортных средств с топливными системами СПГ [10], при их внедрении взамен дизельных автобусов, целесообразна дотационная поддержка данного мероприятия из бюджетов различных уровней. Размер дотаций оказывает прямое влияние на объём инвестиций, производимых

транспортным предприятием. Для определения рационального уровня дотационной поддержки, по результатам моделирования установлены зависимости основных показателей экономической эффективности инвестиций от их объёма. Данные зависимости представлены на рисунках 4 и 5.

При внедрении топливно-энергетической схемы, предполагающей применение более дешёвого энергоносителя, одним из ключевых параметров, формирующих область эффективного применения внедряемой технологии, является средний годовой пробег транспортных средств. Полученные по результатам моделирования зависимости годового экономического эффекта от среднего годового пробега транспортных средств приведены на рисунке 6. Исходя из полученных данных, можно сделать предварительный вывод о том, что при подборе моделей транспортных средств, обслуживающих городские маршруты, для обеспечения положительной рентабельности необходимо учитывать интенсивность эксплуатации, определяемую общим годовым пробегом.

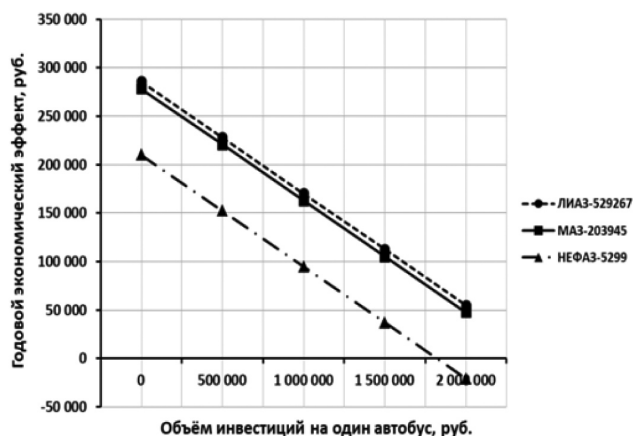


Рисунок 4. Зависимости годового экономического эффекта при переводе транспортных средств с дизельного топлива на сжиженный природный газ от объёма инвестиций, приходящихся на один автобус

Источник: разработано авторами

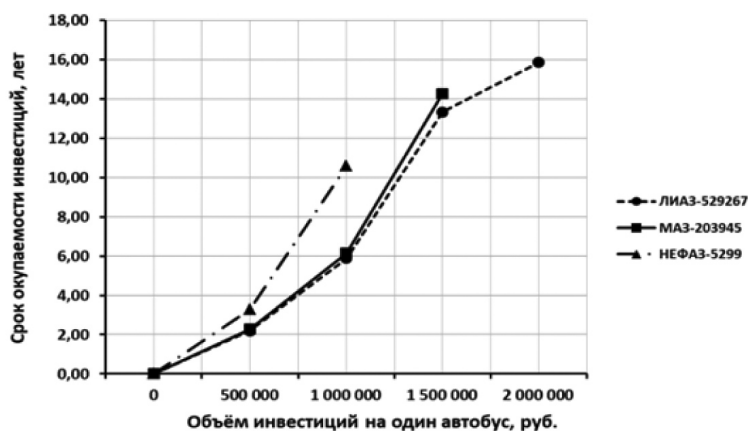


Рисунок 5. Зависимости срока окупаемости инвестиций при переводе транспортных средств с дизельного топлива на сжиженный природный газ от объёма инвестиций, приходящихся на один автобус

Источник: разработано авторами

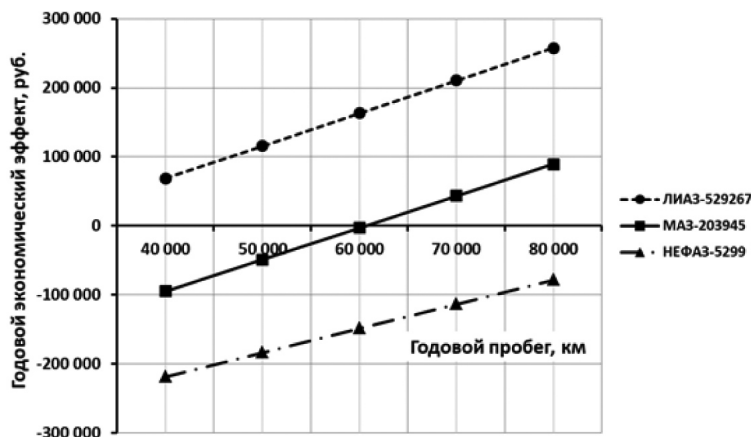


Рисунок 6. Зависимости годового экономического эффекта при переводе транспортных средств с дизельного топлива на сжиженный природный газ от годового пробега одного автобуса

Источник: разработано авторами

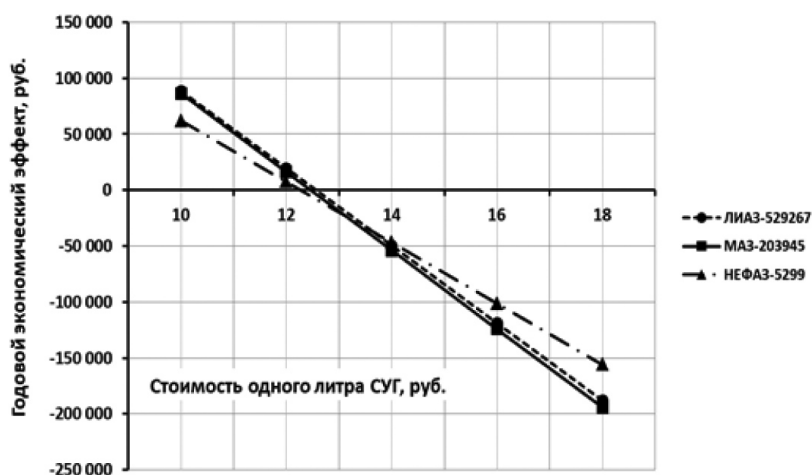


Рисунок 7. Зависимости годового экономического эффекта при переводе транспортных средств с компримированного природного газа на сжиженный природный газ от стоимости одного литра сжиженного природного газа

Источник: разработано авторами

Аналогичным образом исследованы технико-экономические показатели внедрения газотопливных систем СПГ взамен газотопливных систем КПГ. Установлено, что в сложившейся экономической ситуации, при сложившихся соотношениях цен на СПГ и КПГ [2, 9, 10, 11] перевод городского общественного транспорта на СПГ взамен КПГ является убыточным мероприятием. Экономический эффект может быть достигнут при определённом уровне дотационных выплат, позволяющих снизить стоимость одного литра топлива до значений менее 12,5 рублей за литр (действующая цена за 1 литр СПГ 26,8 руб.). Данный вывод подтверждается графиками, представленными на рисунке 7. Исходя из полученных результатов, можно сделать дополнительный вывод о том, что срок окупаемости данного мероприятия является условной, управляемой

величиной и зависит от объёма инвестиционных вложений.

Заключение

Исходными данными для выполненной научной работы послужили результаты анализа технологических и технико-экономических параметров применения сжиженного метана в качестве автомобильного топлива. Обозначены проблемы, обусловленные относительно высокой стоимостью сжиженного метана, отсутствием заправочной, сервисной инфраструктуры и рядом других факторов.

В плане решения одной из поставленных задач разработан алгоритм технико-экономического анализа практического применения инновационных топливно-энергетических схем на автомобильном транспорте. На основе данного алгоритма создана

математическая модель оценки показателей эффективности эксплуатации автотранспортных средств в различных условиях. Для практического применения разработанной математической модели произведена формализация входных данных и параметров, определяющих условия эксплуатации автотранспортных средств.

На основе полученных данных произведено моделирование ключевых показателей экономической эффективности внедрения газотопливных систем СПГ взамен традиционных видов топлива (дизельного топлива и КПГ) для системы городского общественного транспорта. По результатам моделирования получены зависимости величины экономического эффекта и срока окупаемости инвестиций от таких ключевых технико-экономических

параметров, как: стоимость одного литра СПГ; объём инвестиций, приходящихся на один автобус; средний годовой пробег автотранспортных средств. Данные зависимости формируют область эффективного применения сжиженного природного газа в системе городского общественного транспорта и составляют научную ценность и практическую значимость полученных результатов.

Полученные данные позволяют сформировать и спрогнозировать структурный состав ключевых потребителей сжиженного природного газа. Данные о составе ключевых потребителей, в свою очередь, являются исходными данными для формирования газозаправочной инфраструктуры, что является одним из ключевых направлений продолжения данного исследования.

Литература

1. Аредова А. К. Развитие научно-методических подходов к формированию стоимости городских пассажирских перевозок: дис. ... канд. экон. наук. – М., 2019. – 204 с.
2. Горбатских Ю. В. Технические средства криогенной инфраструктуры комплексов ожижения природного газа // Материалы 5-ой научн.-техн. конф. «Применение криогенных топлив в перспективных летательных аппаратах». – М.: Ассоциация организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация». – 2000. – С. 44–48.
3. Горбачев С. В. Разработка методики оценки сложности маршрутов при перевозке пассажиров с учетом уровня безопасности транспортных ситуаций // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 1. – С. 82–89.
4. Дрючин Д. А., Тищенко А. С. Оценка влияния технологических параметров и эксплуатационных факторов на эффективность применения компримированного природного газа на автомобильном транспорте // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 11. – С. 16–19.
5. Жувакин Д. Ю. Роль и перспективы российской федерации на мировом рынке сжиженного природного газа: дис. ... канд. экон. наук. – М., 2014. – 185 с.
6. Кириллов Н. Г. Природный газ как моторное топливо: газ сжатый или газ сжиженный // Газовая промышленность. – 2003. – № 2. – С. 74–75.
7. Кириллов Н. Г. Сжиженный природный газ: области применения и технологии производства // Холодильный бизнес. – 2002. – № 6. – С. 8–11.
8. Матанцева О. Ю., Белогребень А. А., Спиринов И. В. Совершенствование порядка определения начальной (максимальной) цены контракта при осуществлении закупок в сфере регулярных пассажирских перевозок автомобильным и городским наземным электрическим транспортом при переходе на брутто-модель взаимодействия с перевозчиками. // Научный вестник автомобильного транспорта. – 2021. – № 2. – С. 5–16.
9. Саркисян В. А. Экономические проблемы газификации и использования СПГ // АвтоГазоЗаправочный Комплекс. – 2002. – № 2. – С. 45–49.
10. Сердюков С. Г. Ходорков И. Л. Типовой мини завод по производству сжиженного природного газа на газоредуцирующих станциях (ГРС) магистральных газопроводов // Холодильный бизнес. – 2001. – № 6. – С. 36–38.
11. Славин М. В. Разработка и исследование технологии заправки автотранспорта сжиженным природным газом: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2006. – 99 с.
12. Aleksandr Kapustin et al. (2020) Method for improving the safety of diesel vehicles when operating on gas engine fuel (gas diesel engines). *Transportation Research Procedia*. Vol. 50, pp. 226–233.
13. Irina Makarova, Larisa Gabsalikhova, Alexander Gritsenko (2020) Improvement of environmental compliance of urban transport system through enlarging fleet of gas-engine municipal machinery. *Transportation Research Procedia*. Vol. 50, pp. 405–413.
14. Jose Luis et al. (2017) Liquefied natural gas: Could it be a reliable option for road freight transport in the EU. *Transportation Research Procedia*. Vol. 71, pp. 785–795.
15. Shouheng Sun, Myriam Ertz (2022) Life cycle assessment and risk assessment of liquefied natural gas vehicles promotion. *Transportation Research Procedia*. Vol. 153, pp. 512–523.

16. Ye Li, et al. (2017) Planning of LNG Filling Stations for Road Freight: A Case Study of Shenzhen. *Transportation Research Procedia*. Vol. 25, pp. 4580–4588.

References

1. Aredova, A. K. (2019) *Razvitie nauchno-metodicheskikh podhodov k formirovaniu stoimosti gorodskih passajirskih perevozok Kand. Diss.* [Development of scientific and methodological approaches to the formation of the cost of urban passenger transportation. Cand.Diss.]. Moscow, 204 p.
2. Gorbatskih, U. V. (2000) [Technical means of cryogenic infrastructure of natural gas liquefaction complexes]. *Materialy 5-oy nauchn.-tekhn.konf. «Primeneniye kriogennykh topliv v perspektivnykh letatel'nykh apparatakh»* [Materials of the 5th Scientific and Technical Conference «Application of cryogenic fuels in advanced aircraft»]. Moscow: Association of Organizations in the field of gas engine fuel «Natural Gas Engine Association», pp. 44–48. (In Russ.).
3. Gorbachev, S. V. (2020) [Development of a methodology for assessing the complexity of routes when transporting passengers, taking into account the level of safety of transport situations]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Orenburg: OSU, Vol. 1, pp. 82–89. (In Russ.).
4. Dryuchin, D. A., Tishenko, A. S. (2017) [Assessment of the influence of technological parameters and operational factors on the effectiveness of compressed natural gas in road transport]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Orenburg: OSU, Vol. 11, pp. 16–19. (In Russ.).
5. Juvakin, D. U. (2014) *Rol i perspektivi Rossiiskoi federacii na mirovom rinke sjiennogo prirodnogo gaza Kand.Diss.* [The role and prospects of the Russian Federation in the global liquefied natural gas market. Kand. Diss.]. Moscow, 185 p.
6. Kirillov, N. G. (2003) [Natural gas as motor fuel: compressed gas or liquefied gas]. *Gazovaya promyshlennost'* [Gas industry]. Vol. 2, pp. 74–75. (In Russ.).
7. Kirillov, N. G. (2002) [Liquefied natural gas: applications and production technologies]. *Kholodil'nyy biznes* [Refrigeration business]. No. 6, pp. 8–11. (In Russ.).
8. Matanceva, O. U., Belogreben, A. A., Spirin, I. V. (2021) [Improving the procedure for determining the initial (maximum) contract price when making purchases in the field of regular passenger transportation by road and urban land electric transport when switching to the gross model of interaction with carriers]. *Nauchnyy vestnik avtomobil'nogo transporta* [Scientific Bulletin of automobile Transport]. Vol. 2, pp. 5–16. (In Russ.).
9. Sarkisian, V. A. (2002) [Economic problems of gasification and use of liquefied natural gas]. [Autogasueling Complex]. No. 2, pp. 45–49. (In Russ.).
10. Serdukov, S. G. Khodorkov, I. L. (2001) [Typical mini-plant for the production of liquefied natural gas at gas-reducing stations (GRS) of main gas pipelines]. *Kholodil'nyy biznes* [Refrigeration business]. Vol. 6, pp. 36–38. (In Russ.).
11. Slavin, M. V. (2006) *Razrabotka i issledovanie tehnologii zapravki avtotransporta sjiennim prirodnim gazom Kand.Diss.* [Development and research of technology for refueling vehicles with liquefied natural gas. PJD. Diss.]. Moscow, 99 p.
12. Aleksandr Kapustin et al. (2020) Method for improving the safety of diesel vehicles when operating on gas engine fuel (gas diesel engines). *Transportation Research Procedia*. Vol. 50, pp. 226–233. (In Russ.).
13. Irina Makarova, Larisa Gabsalikhova, Alexander Gritsenko (2020) Improvement of environmental compliance of urban transport system through enlarging fleet of gas-engine municipal machinery. *Transportation Research Procedia*. Vol. 50, pp. 405–413. (In Russ.).
14. Jose Luis et al. (2017) Liquefied natural gas: Could it be a reliable option for road freight transport in the EU. *Transportation Research Procedia*. Vol. 71, pp. 785–795. (In Eng.).
15. Shouheng Sun, Myriam Ertz (2022) Life cycle assessment and risk assessment of liquefied natural gas vehicles promotion. *Transportation Research Procedia*. Vol. 153, pp. 512–523. (In Eng.).
16. Ye Li et al. (2017) Planning of LNG Filling Stations for Road Freight: A Case Study of Shenzhen. *Transportation Research Procedia*. Vol. 25, pp. 4580–4588 (In Eng.).

Информация об авторах:

Дмитрий Алексеевич Дрючин, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
ORCID ID: 0000-0002-1311-6462
e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

Сергей Викторович Горбачёв, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

ORCID ID: 0000-0001-9093-9713

e-mail: avtog12@mail.ru

Вклад соавторов:

Дрючин Д. А. – постановка цели и задач исследования, обзор литературных источников, разработка теоретической части исследования, разработка алгоритмов вычислений, анализ полученных результатов, формулировка выводов.

Горбачёв С. В. – обзор литературных источников, сбор и обработка исходных данных, выполнение практических расчётов, систематизация и анализ полученных результатов, формулировка выводов.

Статья поступила в редакцию: 22.03.2022; принята в печать: 15.06.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Dmitry Alexeyevich Dryuchin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department Technical operation and repair of cars, Orenburg State University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0002-1311-6462

e-mail: dmi-dryuchin@yandex.ru

Sergei Viktorovich Gorbachev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department Technical operation and repair of cars, Orenburg state University, Orenburg, Russia

ORCID ID: 0000-0001-9093-9713

e-mail: avtog12@mail.ru

Contribution of the authors:

Dryuchin D. A. – statement of the purpose and objectives of the study, review of literary sources, development of the theoretical part of the study, development of calculation algorithms, analysis of the results obtained, formulation of conclusions.

Gorbachev S. V. – review of literary sources, collection and processing of initial data, implementation of practical calculations, systematization and analysis of the results obtained, formulation of conclusions.

The paper was submitted: 22.03.2022.

Accepted for publication: 15.06.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.