

Научная статья
УДК 629.048.7

Мобильная установка для поддержания температуры топлива при транспортировке

Ирина Сергеевна Нестеренко¹, Никита Сергеевич Ганин²

^{1,2}Омский государственный технический университет (ОмГТУ), Омск, Россия

¹umnik12004@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4749-010X>

²nik.ganin.2003@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена вопросам проектирования устройств для нагрева или охлаждения топлива, транспортируемого мобильными автоопливозаправщиками. Актуальность применения таких машин обусловлена необходимостью обеспечения качественной транспортировки топлива и поддержания требуемого микроклимата.

В данной статье было рассмотрено устройство для поддержания микроклимата и базовое шасси для его размещения. Также предложена 3D модель автоопливозаправщика. Приведены фрагменты методики расчета требуемых характеристик. Выводы и предложения по использованию.

Ключевые слова: автоопливозаправщик, тепловой насос, хладагент, топливо микроклимат.

Для цитирования: Нестеренко И.С., Ганин Н.С. Мобильная установка для поддержания температуры топлива при транспортировке // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2025. № 1 (43).

Original article

Mobile unit for maintaining fuel temperature during transportation

Irina S. Nesterenko¹, Nikita S. Ganin²

^{1,2}Omsk State Technical University (OMSTU), Omsk, Russia

¹umnik12004@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4749-010X>

²nik.ganin.2003@mail.ru

Abstract. The work is devoted to the design of devices for heating or cooling fuel transported by mobile fuel tankers. The relevance of the use of such machines is due to the need to ensure high-quality transportation of fuel and maintain the required microclimate.

This article examined a device for maintaining a microclimate and a basic chassis for its placement. A 3D model of a fuel tanker has also been proposed. Fragments of the methodology for calculating the required characteristics are given. Conclusions and suggestions for use.

Keywords: fuel tanker, heat pump, refrigerant, fuel microclimate.

For citation: Nesterenko I.S., Ganin N.S. Mobile unit for maintaining fuel temperature during transportation // *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2025. № 1 (43).

Введение

В настоящее время существует множество способов транспортировки топлива как жидкого, так и газообразного. Практически все жидкие углеводороды (производные от нефти) интенсивно испаряются и легко воспламеняются, их пары вредны для человека. Общие требования регламентируют перевозку жидких углеводородов, указывая на то что, перевозить их необходимо, только в плотно закрытых резервуарах или цистернах. К горючим газам уделяются более строгие требования по их транспортировке.

Несомненным достоинством автомобильной перевозки ГСМ является то, что таким путем можно быстро доставлять относительно небольшое количество топлива на автозаправочную станцию или на другие промышленные объекты, либо сама автоцистерна может выступать в качестве мобильной заправки. Как правило, одна автоцистерна нацелена на перевозку определенного вида топлива. Помимо этого, существует еще ряд требований при транспортировке ГСМ, заземление цистерны, чтобы избежать накопления статического электричества, окраска цистерны в яркие цвета, на автомобиль устанавливаются проблесковые маяки желтого цвета и на цистерну наносят различные опознавательные знаки. Автомобиль, выступающий в качестве транспортировщика ГСМ, в первую очередь, должен соответствовать требованиям правил пожарной безопасности.

Объем цистерн мобильных заправщиков может составлять до 20 м³. Оптимальным объемом при проведении заправочных работ является емкость

от 1 до 5 м³. Для их транспортировки подходят платформы грузовых автомобилей со средней грузоподъемностью (от 2 до 5 тонн). В качестве базы могут выступать такие отечественные автомобили. Заправщики на базе среднетоннажных грузовиков являются наиболее маневренными из-за меньших габаритов автомобиля.

Мобильные автотопливозаправщики (МАТЗ) выполняют свою функцию как в зимнее время года, когда температура окружающей среды ниже нуля, так и в летнее. Понижение температуры ниже -25° неблагоприятно сказывается на процессе перекачивания некоторых видов ГСМ, особенно дизельного топлива (ДТ).

У ДТ существенно повышается вязкость при низких температурах. Такой фактор, главным образом, приводит к проблемам с его перекачиванием из цистерны автотопливозаправщика в топливные баки других автомобилей или емкостей и понижению качества, самого топлива. Аналогичная проблема может возникать при перекачке различных масел, которые тоже могут перевозиться МАТЗ.

Транспортировка топлива в летнее время года, также имеет свои особенности. При перевозке легких видов топлив и газов происходит их интенсивное испарение, в следствие чего в цистерне возникает избыточное давление. Стравливание паров топлива через перепускной клапан, на стоянке, повышает риск возникновения пожара. На интенсивность их испарения существенно влияет температура окружающей среды. Так же при длительной транспортировке цистерны нагрев может усиливаться от воздействия солнечной энергии [1].

Оценив возможные риски, возникает необходимость обеспечения необходимых климатических условий внутри цистерны.

Цели данной работы:

- внедрение конструктивных изменений в конструкцию автотопливозаправщика;

- моделирование мобильного заправщика при помощи известных компьютерных программ.

Объект исследования

В качестве установки при нагреве топлива используют трубчатые электронагреватели (ТЭН). Они являются эффективным способом нагрева и поддержания оптимальной температуры топлива, что способствует его сохранности и качеству. Недостатком такого решения является большое потребление электроэнергии и вероятность непроизвольного воспламенения топлива в месте контакта. Электронагреватели широко используют в качестве автономных предпусковых подогревателей, но использовать их для нагрева топлива объемом более 1 м³ не рационально.

Нагрев ГСМ путем использования экзотермических химических реакций требуют большого количества реактивов, а это лишняя паразитная масса на шасси и дополнительные затраты. Возникает необходимость использования дорогостоящего оборудования по контролю нагрева топлива и дозировке необходимых реактивов. Окислительно-восстановительные реакции, сопровождающиеся горением, вовсе не пригодны для транспортировки ГСМ в силу взрывопожароопасности [2, 3].

При эксплуатации данной техники в летние времена года возникают проблемы при транспортировке светлых нефтепродуктов с повышенной интенсивностью испарения и увеличением избыточного давления в цистерне.

Один из способов уменьшения и стабилизации температуры в топливных отсеках – это использование внешних радиаторов. В радиаторы, путем принудительной подачи насосом, поступает топливо – охлаждается и возвращается обратно в цистерну. Расположение радиаторов на крыше кабины АТЗ способствует увеличению степени охлаждения, путем обдувки сетки радиаторов встречным потоком воздуха. Существенный недостаток данной конструкции – это неэффективная работа системы охлаждения, когда

автомобиль находится на стоянке. Также ухудшаются аэродинамические характеристики.

Использование в качестве охладителя сухой лед (CO_2) требует значительной доработки конструкции цистерны из-за его низкой температуры -79°C , так как прямое охлаждение светлых нефтепродуктов, путем погружения сухого льда в топливо, невозможно. Также используется полезное пространство на автомобиле для хранения данного хладагента.

При анализе возможных решений обогрева и охлаждения топлива в цистерне АТЗ оптимальным решением можно выделить использование теплового насоса. Его преимущество перед рассмотренными выше решениями в том, что он может работать как на обогрев, так и на охлаждение. Таким образом, одна установка включает в себя сразу две функции.

Основные результаты

Тепловой насос (ТН) – устройство, предназначенное в первую очередь для теплоснабжения, путём переноса тепловой энергии от низкопотенциального источника тепла к потребителю с более высокой температурой. Перенос энергии осуществляется путем фазовых переходов агрегатного состояния рабочего вещества.

Конструкция теплового насоса позволяет изменять направление движения хладагента в контуре. В этом случае конденсатор и испаритель меняются местами. Устройством для осуществления такой смены служит четырехходовой клапан с соленоидом (рис. 1).

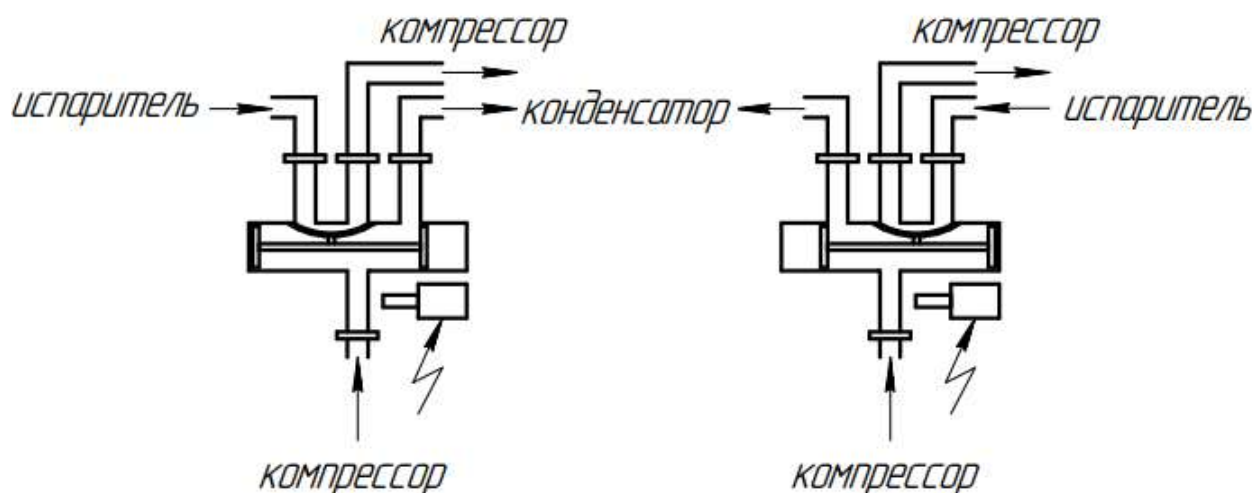


Рис. 1. Четырехходовой клапан с соленоидом

Тепловые насосы имеют высокую энергетическую эффективность. В среднем при затрате 1 кДж энергии на совершение холодильного цикла компрессором, на выходе получается порядка 4 кДж тепловой энергии. Остальные 3 кДж энергии отдаёт, либо поглощает сам хладагент в процессе фазовых переходов, протекающих в конденсаторе и испарителе. Данная характеристика называется коэффициентом преобразования тепла (КПТ) [4].

Формула для нахождения коэффициента преобразования тепла

$$\mu = \frac{Q}{N_k} \quad (1)$$

где Q – тепловой поток (тепловая мощность), кВт;

N_k – мощность компрессора, кВт.

Таким образом, тепловые насосы являются энергоэффективнее чем различные электронагреватели. Например, при получении 10 кВт мощности на ТЭН, необходимо затратить такую же мощность (даже больше с учетом потерь). При получении на конденсаторе ТН такой же теплоснабжающей мощности, необходимо затратить порядка 2,5-3 кВт электроэнергии для привода компрессора. Это дает значительное преимущество в энергоэффективности системы, при ее эксплуатации на автомобиле. В зависимости от объема перевозимого топлива и предполагаемой

затрачиваемой мощности на нагрев/охлаждение допускается установка на борт АТЗ автономного источника электроэнергии.

При эксплуатации теплового насоса в зимнее время года, когда температура окружающего воздуха отрицательна, возникает серьезная проблема в работе установки. Хладагент в испарителе кипит при низкой температуре, тем самым забирая низкопотенциальное тепло из среды с которой контактирует испаритель. Следовательно, чтобы хладагент кипел температура среды должна быть выше температуры кипения хладагента. Разница между температурой среды, с которой контактирует испаритель и температурой кипения хладагента называется полным температурным напором. Для нормальной работы установки полный температурный напор должен быть не меньше 20 °С.

Следовательно, при отрицательных температурах окружающего воздуха интенсивность кипения хладагента в испарителе снижается (или вообще пропадает) и общая эффективность работы теплового насоса падает.

Таким образом, в качестве источника тепла для испарителя теплового насоса, в зимние времена года, рассматриваются отработавшие газы (ОГ) автомобиля. Подвод ОГ к испарителю теплового насоса, главным образом, требует подбора теплообменного аппарата, который позволит более рационально использовать все тепло отработавших газов для нагрева хладагента. В качестве теплообменника, в данной задаче, предлагается использовать пластинчатый аппарат, в угоду его высокой теплопередачи.

Для нормальной работы пластинчатого теплообменника (рис. 2), необходимо учитывать температуру кипения хладагента в каналах пластин. Она должна быть строго положительной. Это обусловлено наличием водяного пара, который имеется в отработавших газах. Отрицательная температура кипения фреона, в процессе теплообмена может поспособствовать кристаллизации воды в каналах теплообменника, тем

самым ухудшить, либо вовсе прекратить процесс прохода ОГ в каналах металлических пластин.

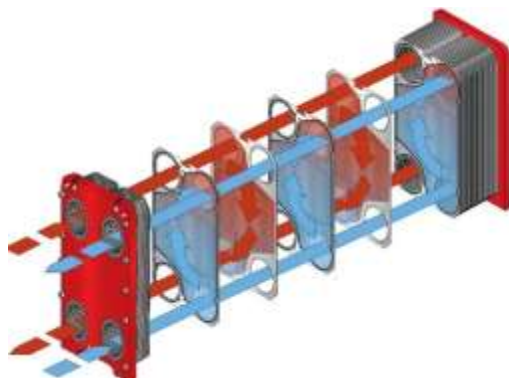


Рис. 2. Пластинчатый теплообменник (ПТО)

При конструктивных или поверочных расчетах использования ПТО в качестве испарителя теплового насоса во внимание стоит принять такие характеристики как: объемный расход отработавших газов (2) и гидравлическое сопротивление пакета пластин на стороне ОГ (3).

$$V_{\text{ОГ}} = \frac{Q_0}{c_p \cdot \rho \cdot (t_{(\text{ВХ})} - t_{(\text{ВЫХ})})} \text{ [м/с]} \quad (2)$$

где Q_0 – холодо/теплопроизводительность, кВт/ч;

C_p – теплоемкость вещества (ОГ), кДж/кг·К;

ρ – плотность вещества (ОГ), кг/м³;

$t_{(\text{ВХ})}$, $t_{(\text{ВЫХ})}$ – температура (°С) вещества на входе в ПТО и выходе из него.

$$\Delta P_{\text{ОГ}} = \xi \cdot \frac{L_{\text{пл}}}{d_{\text{э}}} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \cdot X, \text{ [Па]} \quad (3)$$

где ξ – коэффициент общего гидравлического сопротивления ПТО;

$L_{\text{пл}}$ – приведенная длина канала ПТО, м;

$d_{\text{э}}$ – эквивалентный диаметр канала, м;

ω – рациональная скорость движения ОГ в каналах ПТО, м/с;

X – число пакетов в аппарате.

Данные величины участвуют в расчетных приближениях по проектированию ПТО или поверочном расчете и дают понимание того на каких режимах работы двигателя теплообмен будет протекать более или

менее интенсивно. Также какую мощность в дальнейшем необходимо затратить на преодоление гидравлического сопротивления ПТО, отработавшими газами автомобиля.

Таким образом, эксплуатация теплового насоса на МАТЗ при отрицательных температурах окружающей среды предлагается осуществлять с подводом тепла от отработавших газов двигателя к испарителю ТН. Для дальнейших суждений рациональности использования установки требуется дополнительный анализ.

При подогреве/охлаждении топлива на МАТЗ необходимо обеспечить хорошую теплоизоляцию цистерны. Для большего КПД всей системы необходимо использовать материал, из которого будет изготавливаться цистерна автотопливозаправщика, который обладает низкой теплопроводностью. В большинстве случаев цистерну изготавливают из металла. Альтернативным решением является стеклопластик, который обладает низкой теплопроводностью.

Стеклопластик состоит из стекловолокна и винилэфирных смол. Коэффициент теплопроводности у стеклопластика $\kappa = 0,3 \text{ Вт/м}^2\text{С}$, при этом у стали $\kappa = 50 \text{ Вт/м}^2\text{С}$. Соответственно топливо в цистерне из стеклопластика будет медленно изменять свою температуры при изменении температуры окружающей среды. Следовательно, повышается степень сохранения тепла топлива в цистерне и уменьшаются потери, что дает значительную экономию энергозатрат системы в целом. Также уменьшается масса цистерны при переходе на композитный материал, что дает возможность увеличить объем транспортируемого топлива.

Для улучшения теплоизоляционных свойств предлагается использовать композитный кожух на борту АТЗ. Данный кожух несет в себе цель по уменьшению теплопотерь, в связи с внешними факторами (ветер, солнечный свет, осадки), путем создания воздушной прослойки между им и топливной цистерной. Также под кожухом может располагаться обогревательная

установка. При дальнейших приближениях возможна конфигурация композитной цистерны с двойными стенками и пустым пространством между ними.

Моделирование МАТЗ проводилось в программе КОМПАС-3D в масштабе 1:1. В качестве шасси был выбран среднетоннажный грузовик ГАЗ 66. Моделирование позволило оптимально разместить все элементы конструкции, в том числе и автономный источник электроэнергии (рис. 3).

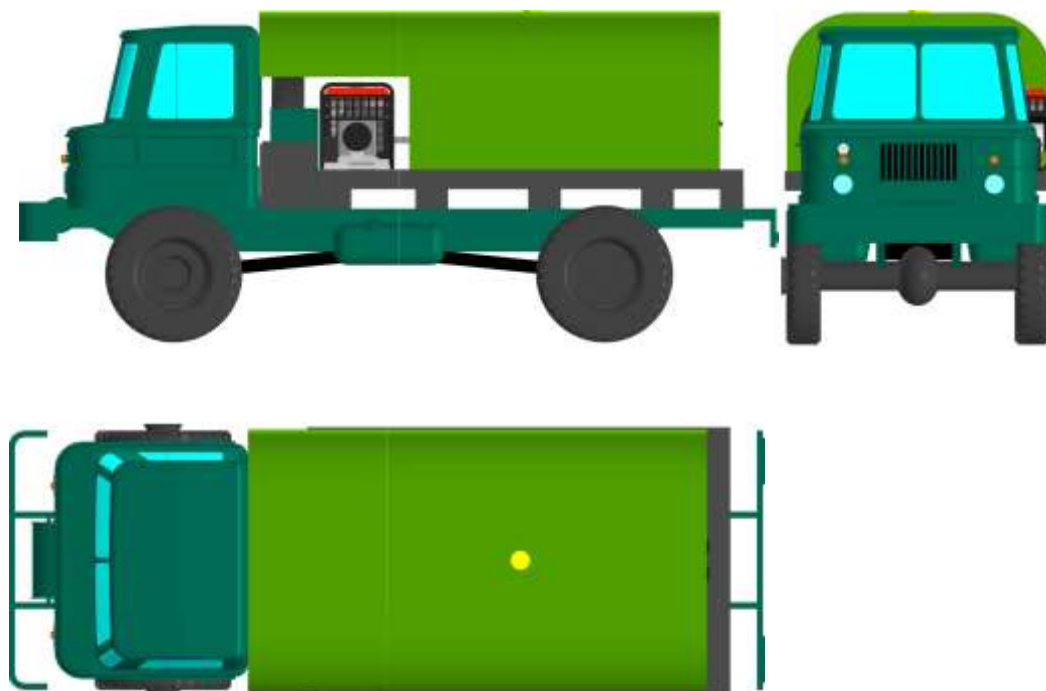


Рис. 3 Мобильный автотопливозаправщик на базе ГАЗ-66

Заключение

В данной работе был проведен анализ использования рационального оборудования способного производить нагрев и охлаждение ГСМ в цистерне мобильного заправщика. По результату исследования было принято решение использовать установку с тепловым насосом.

Выполненные исследования позволили сделать вывод о возможности применения композитных материалов для изготовления основных элементов автотопливозаправщика.

Список источников

1. Сивер, А. А. Обоснование выбора базового автомобиля для перевозки ГСМ малого объема / А. А. Сивер, Г. А. Нестеренко, И. С. Нестеренко // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 91-7. – С. 139-140. – DOI 10.18411/trnio-11-2022-367. – EDN SZWEHW.
2. Нестеренко, Г. А. Подогрев дизельного топлива в автотопливозаправщике малого объема / Г. А. Нестеренко, И. С. Нестеренко, Н. С. Ганин // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – № 4(38). – EDN BWZASC.
3. Трубчатые электрические нагреватели и установки с их применением / Ю. А. Белавин, М. А. Евстигнеев, А. Н. Чернявский. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 157 с. ISBN 5-283-00509-7.
4. Талако, Т. Л. Синтез материалов с участием механически активируемых экзотермических реакций: монография / Т. Л. Талако ; Нац. акад. наук Беларуси, Отделение физ.-техн. наук. – Минск : Беларуская навука, 2024. – 236 с. – ISBN 978-985-08-3114-9.
5. Нестеренко, Г. А. Использование водородного топливного элемента в транспортных средствах для магистральных грузоперевозок / Г. А. Нестеренко // Автомобильная промышленность. – 2024. – № 8. – С. 9-11. – EDN HNDTJJ.
6. Тепловой насос // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – Москва: Советская энциклопедия, 1969-1978.
7. Шаталов, И.К. Теплонасосные установки с приводом от тепловых двигателей / И.К. Шаталов. – Москва : РУДН, 2009. – 95 с.
8. Никитина, А. С. Контроль метрологических характеристик топливораздаточных колонок / А. С. Никитина, Г. А. Нестеренко // Ученые Омска - региону : Материалы IX Региональной научно-технической конференции, Омск, 25 июня 2024 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2024. – С. 62-64. – EDN EZKBNV.
9. Барановский, Н.В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко, А.Р. Ястребенецкий. – Москва : Машиностроение, 1973.
10. В Масштабе. [Электронный ресурс] // vmasshtabe.ru: сайт. URL: <https://tk-masshtabe.ru/> (дата обращения: 24.10.2024).

References

1. Siver A.A., Nesterenko G.A., Nesterenko I.S. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2022, no. 89-1, pp. 98-101.
2. Nesterenko G.A., Nesterenko I.S., Ganin N.S. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*, 2023, no. 4(38).

3. Belavin Yu.A., Evstigneev M.A., Chernyavsky A.N. *Trubchatyye elektricheskiye nagrevateli i ustanovki s ikh primeneniym* (Tubular electric heaters and installations with their use), Moscow, Energoatomizdat, 1989, 157 p.
4. Talako T.L. *Sintez materialov s uchastiyem mekhanicheskii aktiviruyemykh ekzotermicheskikh reaktsiy* (Synthesis of materials involving mechanically activated exothermic reactions), Minsk, Belaruskaya Navuka, 2024, 236 p.
5. Nesterenko G. A. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2024, no. 8, pp. 9-11.
6. *Teplovoy nasos* (Heat pump), Great Soviet Encyclopedia, Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1969-1978.
7. Shatalov I.K. *Teplonasosnyye ustanovki s privodom ot teplovykh dvigateley* (Heat pump units driven by heat engines), Moscow, RUDN, 2009, 95 p.
8. Nikitina A.S., Nesterenko G.A. *Uchenyye Omska: Materialy IX Regional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsi*, Omsk, Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet, 2024, pp. 62-64.
9. Baranovsky N.V., Kovalenko L.M., Yastrebenetsky A.R. *Plastinchatyye i spiral'nyye teploobmenniki* (Plate and spiral heat exchangers), Moscow, Mashinostroyeniye, 1973.
10. URL: <https://tk-https://vmasshtabe.ru/> (10.24.2024).

Рецензент: Г.А. Нестеренко, канд. техн. наук, доц., ОмГТУ

Информация об авторах

Нестеренко Ирина Сергеевна, старший преподаватель, ОмГТУ.

Ганин Никита Сергеевич, магистрант, ОмГТУ.

Information about the authors

Nesterenko Irina S., Senior Lecturer, OmSTU.

Ganin Nikita S., undergraduate, OmSTU.

Статья поступила в редакцию 20.11.2024; одобрена после рецензирования 03.03.2025; принята к публикации 18.03.2025.

The article was submitted 20.11.2024; approved after reviewing 03.03.2025; accepted for publication 18.03.2025.