

Научная статья  
УДК 629.048.7

## Подогрев дизельного топлива в автотопливозаправщике малого объёма

Григорий Анатольевич Нестеренко<sup>1</sup>, Ирина Сергеевна Нестеренко<sup>2</sup>,  
Никита Сергеевич Ганин<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Омский государственный технический университет (ОмГТУ), Омск, Россия

<sup>1</sup>nga112001@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1528-4627>

<sup>2</sup>distant02@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4749-010X>

<sup>3</sup>nik.ganin.2003@mail.ru

**Аннотация.** Статья посвящена вопросу подогрева топлива в цистерне заправщика. Рассмотрены некоторые причины ухудшения свойств текучести дизельного топлива в условиях воздействия низких температур. Проанализированы различные варианты конструкций цистерн автотопливозаправщиков.

Рассмотрена конструкция автоцистерны, изготовленной из композитного материала и варианты исполнения системы обогрева топлива.

Проведен анализ факторов, влияющих на обеспечение требуемого температурного режима транспортировки дизельного топлива. Описаны средства поддержания необходимого режима.

В статье представлены основные положения математического описания температурного режима транспортировки ГСМ. Указанные зависимости дают практическую возможность проведения расчетов тепловых потерь и требуемого количества теплоты.

В заключительной части описаны практические рекомендации по обеспечению требуемого температурного режима транспортировки дизельного топлива в условиях действия низких отрицательных температур.

**Ключевые слова:** автомобиль, дизельное топливо, подогрев, теплота, заправщик.

**Для цитирования:** Нестеренко Г.А., Нестеренко И.С., Ганин Н.С. Подогрев дизельного топлива в автотопливозаправщике малого объёма// Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №4 (38).

Original article

## Heating diesel fuel in a small-volume fuel tanker

Grigory A. Nesterenko<sup>1</sup>, Irina S. Nesterenko<sup>2</sup>, Nikita S. Ganin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Omsk State Technical University (OMSTU), Omsk, Russia

<sup>1</sup>nga112001@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1528-4627>

<sup>2</sup>distant02@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4749-010X>

<sup>3</sup>nik.ganin.2003@mail.ru

**Abstract.** The article is devoted to the issue of heating fuel in a tanker tank. Some reasons for the deterioration of the fluidity properties of diesel fuel under low temperature conditions are considered. Various design options for refueling tanks have been analyzed.

The design of a tanker made of composite material and options for the fuel heating system are considered.

An analysis of the factors influencing the provision of the required temperature regime for the transportation of diesel fuel was carried out. The means of maintaining the required regime are described.

The article presents the main provisions of the mathematical description of the temperature regime of transportation of fuel and lubricants. These dependencies make it possible to practically calculate heat losses and the required amount of heat.

The final part describes practical recommendations for ensuring the required temperature conditions for the transportation of diesel fuel under conditions of low negative temperatures.

**Keywords:** car, diesel fuel, heating, heat, tanker.

**For citation:** Nesterenko G.A., Nesterenko I.S., Ganin N.S. Heating of diesel fuel in a small-volume fuel tanker // *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №4 (39).

### Введение

Дизельное топливо (ДТ) в зависимости от вида (летнее, межсезонное, зимнее, арктическое) имеет свойство густеть при низких температурах [1]. Это приводит к проблемам с его перекачиванием из цистерны автотопливозаправщика в топливные баки других машин. Для предотвращения подобных негативных последствий, мобильные заправщики оснащают системами нагрева перевозимого топлива, которые могут работать в двух режимах:

1. Поддерживать температуру топлива в оптимальном состоянии на протяжении всей транспортировки.
2. Подключаться в конце транспортировочного пути и разогревать топливо перед его перекачкой.

Каждый из режимов имеет свои преимущества и недостатки. Так, например, при постоянной работе обогревателя топливо всегда находится в жидком состоянии, но в таком случае расходуется большое количество энергии, а при нагревании топлива в конце пути имеется риск полного затвердевания жидкости ещё во время грузоперевозки, как следствие

ухудшаются полезные качества топлива. Каждый режим работы необходимо использовать в соответствующих условиях. При очень низких температурах – первый, в межсезонье – второй. Также, соблюдая правила техники безопасности.

Цели работы:

- внедрение обогрева, транспортируемого дизельного топлива, на автотопливозаправщике малого объёма (до 1 м<sup>3</sup>) методом установки генераторной станции на платформу автомобиля и подключения к ней трубчатых электронагревателей (ТЭН);
- нахождение материала с более низкой теплопроводностью, для изготовления ёмкости транспортировщика;
- расчёт работы обогревательной установки.

### Объект исследования

Цистерна автотопливозаправщика в нашем случае объёмом 1 м<sup>3</sup>. Стоит отметить, что обогревать топливо целесообразно на автоцистернах малого объёма в угоду меньшей затрачиваемой энергии и времени обогрева. В качестве несущей платформы предлагается автомобиль отечественного производства УАЗ 330365. Грузоподъёмности данного автомобиля будет достаточно для установки на него топливной цистерны и генераторной установки [2, 3].

Генераторную установку предлагается создавать на базе 7 – 10 кВт бензинового генератора. В таком случае рассматриваются модели: Ресанта БГ 9500 Р 64/1/53, Inforce GL 7500 04-03-17, TOR KM11000H. Данные модели имеют мощность, соответствующую указанным диапазонам и обладают вместительным топливным бочком (более 20 литров). Также стоит отметить вид бензинового двигателя при выборе генератора – двухтактный или четырёхтактный. При выборе генератора с четырёхтактным двигателем для работы в северных регионах необходимо использовать масло с меньшей вязкостью. Двухтактные двигатели имеют больший расход топлива.

ТЭН – трубчатый электронагреватель, электронагревательный прибор в виде металлической трубки, заполненной теплопроводящим электрическим изолятором. Точно по центру изолятора проходит токопроводящая нить (обычно нихромовая или фехрелевая) определённого сопротивления для передачи необходимой удельной мощности на поверхность ТЭН

Использование ТЭН для обогрева дизельного топлива в цистерне является эффективным и надёжным способом поддержания оптимальной температуры топлива, что способствует его сохранности и качеству.

Преимущества использования ТЭН:

1. ТЭН обеспечивают равномерное распределение тепла и предотвращают образование горячих точек, что снижает риск возгорания и взрыва.
2. ТЭН изготовлены из прочных материалов, устойчивых к коррозии, что обеспечивает их долговечность и надёжность.
3. ТЭН могут быть легко управляемыми с помощью терморегуляторов, что позволяет точно настроить и поддерживать заданную температуру [4, 5, 6].

В данном случае трубчатые электронагреватели подключаются через блок управления к генераторной установке и помещаются внутри топливной ёмкости (рис. 1).

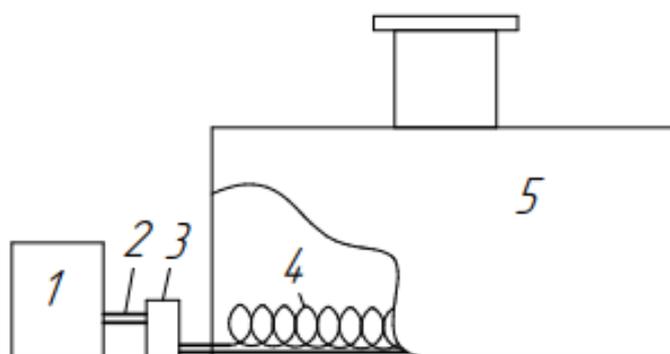


Рис. 1. Принципиальная схема обогрева топлива. 1 – генераторная установка, 2 – силовая и управляющая проводки, 3 – блок управления, 4 – ТЭН, 5 – топливная ёмкость

В большинстве случаев ёмкость для транспортировки топлива выполняется из металла (сталь, алюминий). В качестве материала обладающего низкой теплопроводностью рассматривается – стеклопластик. Коэффициент теплопроводности у стеклопластика в разы меньше, чем у стали. В таблице 1 представлены величины теплопроводности некоторых веществ.

Таблица 1

Теплопроводность некоторых материалов, [Вт/м·°С]

Стеклопластик	0,3 – 0,5
Сталь	46
Алюминий	140 – 190
Древесина	0,16 – 0,3

Кроме низкой теплопроводности, стеклопластики обладают высокой термоустойчивостью, они могут эксплуатироваться при температуре до 200 °С [7].

В расчёте рассмотрен ряд факторов, которые влияют на эффективность нагрева топлива в цистерне. Одним из основных факторов является объём транспортируемого топлива, так как чем больше объём, тем больше энергии потребуется для его нагрева и поддержания заданной температуры. Также важными факторами являются температура окружающей среды и теплопотери.

Для расчёта необходимо учесть теплопотери, которые могут возникнуть в процессе передачи тепла через стенки цистерны в окружающую среду, поэтому будут взяты две цистерны одинакового объёма, но изготовленные из разных материалов. В первом случае из стали, а во втором – из стеклопластика.

### Расчет показателей теплопотерь автоцистерны

Автотопливозаправщик с цистерной объёмом  $V = 1 \text{ м}^3$  перевозит дизельное топливо марки ДТ-З, температура окружающей среды  $t = -38^\circ\text{C}$ , в качестве генератора выступает Ресанта БГ 9500 Р 64/1/53 с выдаваемой

мощностью  $P = 7500$  Вт. Таким образом, необходимо определить время, за которое установка сможет нагреть топливо до рабочей температуры  $t_p = -25^\circ\text{C}$ , учитывая теплопотери в системе.

Количество теплоты, необходимое для нагрева дизельного топлива:

$$Q_H = m \cdot C \cdot (t_p - t) \quad (1)$$

где  $m$  – масса дизельного топлива, [кг];

$C$  – удельная теплоёмкость дизельного топлива, [Дж/кг·°C];

$t_p$  – рабочая температура жидкости, [°C];

$t$  – температура, окружающей среды, [°C].

Масса дизельного топлива:

$$m = \rho \cdot V \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность ДТ, [кг/м<sup>3</sup>].

Время нагрева дизельного топлива:

$$\tau = \frac{Q_H}{P} \quad (3)$$

где  $\tau$  – время нагрева, [с];

$P$  – номинальная мощность генератора, [Вт].

Количество теплоты, выделенное в окружающую среду будет включать в себя две величины – количество теплоты, переданное от дизельного топлива цистерне  $Q_{Ц}$  и количество теплоты, переданное от цистерны в окружающую среду  $Q_{ОС}$ :

$$Q_{Ц} = k_{ДТ} \cdot F \cdot \tau \cdot (t_{ср} - t) \quad (4)$$

где  $k_{ДТ}$  – коэффициент теплопроводности ДТ, [Вт/м·°C];

$F$  – площадь поверхности рассеивания тепла, [м<sup>2</sup>];

$\tau$  – время нагрева, [с];

$t_{ср}$  – средняя температура топлива в цистерне за время разогрева, [°C];

$t$  – температура, окружающей среды, [°C].

$$Q_{ОС} = k_{Ц} \cdot F \cdot \tau \cdot (t_{ср} - t) \quad (5)$$

где  $k_{Ц}$  – коэффициент теплопроводности материала из которого изготовлена цистерна (сталь, композит), [Вт/м·°C].

Площадь поверхности рассеивания тепла для эллипсоидальной цистерны рассчитывается по следующей формуле:

$$F = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot R + 4 \cdot \frac{\pi \cdot r \cdot R + (R-r)^2}{r+R} \cdot h \quad (6)$$

где  $r$  – меньший радиус эллипса, [м];

$R$  – больший радиус эллипса, [м];

$h$  – длина цистерны, [м].

Средняя температура топлива в цистерне за время разогрева равна [9]:

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_p + t}{2} \quad (7)$$

Исходные данные для выполнения расчёта представлены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные

$C$ , [Дж/кг·°C]	$\rho$ , [кг/м <sup>3</sup> ]	$k_{\text{дт}}$ , [Вт/м·°C]	$k_{\text{цст}}$ , [Вт/м·°C]	$k_{\text{цк}}$ , [Вт/м·°C]	$r$ , [м]	$R$ , [м]	$h$ , [м]
2010	850	0,1169	46	0,3	0,4	0,7	1,2

Масса перевозимого топлива:

$$m = 850 \cdot 1 = 850 \text{ кг}$$

Количество теплоты, необходимое для нагрева дизельного топлива:

$$Q_{\text{н}} = 850 \cdot 2010 \cdot (-25 - (-38)) = 22,211 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Время нагрева дизельного топлива:

$$\tau = \frac{22,211 \cdot 10^6}{7500} = 2962 \text{ с } (\approx 49 \text{ мин})$$

Таким образом, в идеальных условиях получаем, что, нагрев топливной цистерны объёмом 1 м<sup>3</sup>, до заданной температуры, составляет 49 минут.

Вычисляем теплопотери, которые формируются в процессе нагрева.

Площадь поверхности рассеивания тепла для эллипсоидальной цистерны:

$$F = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,7 + 4 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,7 + (0,4 - 0,7)^2}{0,4 + 0,7} \cdot 1,2 = 5,99 \text{ м}^2$$

Средняя температура топлива в цистерне за время разогрева:

$$t_{\text{cp}} = \frac{-25 + (-38)}{2} = -31,5 \text{ °C}$$

Количество теплоты, переданное от дизельного топлива цистерне:

$$Q_{ц} = 0,1169 \cdot 5,99 \cdot 2962 \cdot (-31,5 - (-38)) = 13,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Количество теплоты, переданное от стальной цистерны в окружающую среду:

$$Q_{ос} = 46 \cdot 5,99 \cdot 2962 \cdot (-31,5 - (-38)) = 5,31 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Количество теплоты, переданное от композитной цистерны в окружающую среду:

$$Q_{ос} = 0,3 \cdot 5,99 \cdot 2962 \cdot (-31,5 - (-38)) = 34,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Опираясь на полученные данные, наблюдается разница в теплопотерях. Теплопроводность стеклопластика меньше теплопроводности стали примерно в 150 раз. Таким образом, стеклопластик со своими теплоизоляционными свойствами имеет преимущество перед сталью.

В качестве усовершенствования конструкции предлагается реализовать подогрев топлива отработавшими газами автомобиля. В данном процессе применяются специальные системы, в которых отработавшие газы направляются на нагревательные элементы. Эти элементы могут быть различными в зависимости от конкретной системы (рис. 2), в данном примере – это теплообменники, которые передают тепло от отработавших газов на топливо, тем самым повышая общий КПД нагревательной установки.

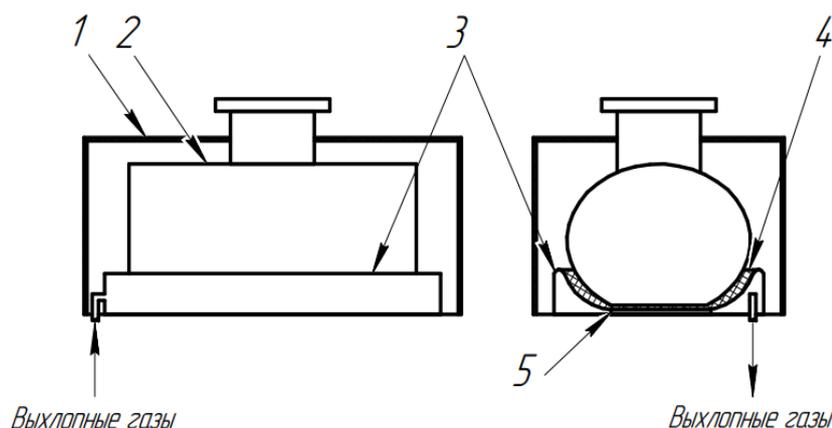


Рис. 2. Схема нагрева топлива отработавшими газами от автомобиля.  
1 – теплоизолирующий кожух, 2 – топливная цистерна, 3 – теплообменник,  
4 – термостойкая прокладка, 5 – рёбра жёсткости

## Заключение

Таким образом, нагрев топлива на автотопливозаправщиках является необходимым процессом для поддержания оптимальной температуры топлива и предотвращения его замерзания [10]. Это особенно важно для перевозки и хранения топлива, особенно в холодных климатических условиях. Обогрев дизельного топлива помогает обеспечить плавную и быструю перекачку насосной станцией и снизить риск возникновения проблем, связанных с его использованием.

## Список источников

1. Дорохин, Р. А. Обзор перспективных методов транспортировки высоковязких нефтей / Р. А. Дорохин, Р. И. Крещенок // Трибуна молодых учёных : сборник статей Международной научно-практической конференции, Пенза, 12 января 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 82-84. – EDN SFCTHR.
2. Сивер, А. А. Анализ необходимости создания транспортных средств для перевозки ГСМ малого объема / А. А. Сивер, Г. А. Нестеренко, И. С. Нестеренко // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 89-1. – С. 98-101. – DOI 10.18411/trnio-09-2022-29. – EDN YXYTWN.
3. Коннова, Г. В. Оборудование транспорта и хранения нефти и газа / Г. В. Коннова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2012. – № 6. – С. 60-61. – EDN PBCNFT.
4. Трубчатые электронагреватели. [Электронный ресурс] // ru.wikipedia.org. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 10.09.2023).
5. Панин, А. В. Облегчение пуска дизельного двигателя путем подогрева топлива / А. В. Панин // Актуальные вопросы автомобильного транспорта (Ават-2022) : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Барнаул, 15–16 декабря 2022 года. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. – С. 87-92. – EDN SVMRYR.
6. Федюнин, П. И. Проблемы подготовки транспортного средства к зимней эксплуатации / П. И. Федюнин, А. П. Сырбаков, М. А. Таскаев // Актуальные вопросы автомобильного транспорта (Ават-2022) : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Барнаул, 15–16 декабря 2022 года. – Барнаул: Алтайский

государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. – С. 96-99. – EDN ВНОУРР.

7. Ганин, Н. С. Насосная станция для цистерны автотопливозаправщика / Н. С. Ганин, И. С. Нестеренко, Г. А. Нестеренко // Транспортные средства специального назначения: разработка, производство и модернизация : Материалы VII Межведомственной научно-практической конференции, Омск, 14 апреля 2023 года. – Омск: Омский автобронетанковый инженерный институт, 2023. – С. 25-28. – EDN ЕКНЛНҚ.

8. Характеристики дизельного топлива. [Электронный ресурс] // tk-barrel.ru. – URL: <https://tk-barrel.ru/harakteristiki-dizelnogo-topliva-arktika-prostymi-slovami/> (дата обращения: 11.09.2023).

9. Расчёт подогрева нефтепродуктов в ёмкостях. [Электронный ресурс] // studfile.net. – URL: <https://studfile.net/preview/5661684/page:10/> (дата обращения: 11.09.2023).

10. Пути повышения эффективности эксплуатации автотракторных дизелей в условиях низких температур / Е. А. Потапов, И. Ю. Тюрин, А. А. Мартюшев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 2. – С. 139-141. – DOI 10.28983/asj.y2022i2pp139-141. – EDN HWFDDDS.

### References

1. Dorokhin R.A., Kreshchenok R.I. *Tribuna molodykh uchonykh: sbornik statey*, Penza, Nauka i Prosveshcheniye, 2023, pp. 82-84.
2. Siver A.A., Nesterenko G.A., Nesterenko I.S. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 2022, no. 89-1, pp. 98-101.
3. Konnova G.V. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2012, no. 6, pp. 60-61.
4. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (10.09.2023).
5. Panin A.V. *Aktual'nyye voprosy avtomobil'nogo transporta (Avat-2022)*, Sbornik statey, Barnaul, Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet im. I.I. Polzunova, 2023, pp. 87-92.
6. Fedyunin P.I., Syrbakov A.P., Taskayev M.A. *Aktual'nyye voprosy avtomobil'nogo transporta (Avat-2022)*, Sbornik statey, Barnaul, Altayskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet im. I.I. Polzunova, 2023, pp. 96-99.
7. Ganin N.S., Nesterenko I.S., Nesterenko G.A. *Transportnyye sredstva spetsial'nogo naznacheniya: razrabotka, proizvodstvo i modernizatsiya*, Materialy konferentsii, Omsk, Omskiy avtobronetankovyy inzhenernyy institut, 2023, pp. 25-28.
8. URL: <https://tk-barrel.ru/harakteristiki-dizelnogo-topliva-arktika-prostymi-slovami/> (11.09.2023).
9. URL: <https://studfile.net/preview/5661684/page:10/> (11.09.2023).

10. Potapov Ye.A., Tyurin I.YU., Martyushev A.A. [etc.] *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*, 2023, no. 2, pp. 139-141.

Рецензент: В.А. Лисин, канд. техн. наук, доц., СибАДИ

### *Информация об авторах*

**Нестеренко Григорий Анатольевич**, канд. техн. наук, доц., ОмГТУ.

**Нестеренко Ирина Сергеевна**, ст. преподаватель, ОмГТУ.

**Ганин Никита Сергеевич**, студент группы ЭТМ-201, ОмГТУ.

### *Information about the authors*

**Nesterenko Grigoriy A.**, Ph.D., associated professor, OmSTU.

**Nesterenko Irina S.**, senior lecturer, OmSTU.

**Ganin Nikita S.**, student of group ETM-201, OmSTU.

*Статья поступила в редакцию 17.10.2023; одобрена после рецензирования 17.10.2023; принята к публикации 14.12.2023.*

*The article was submitted 17.10.2023; approved after reviewing 17.10.2023; accepted for publication 14.12.2023.*