

## СПОСОБ ОБЛЕГЧЕНИЯ ПУСКА ДИЗЕЛЕЙ ПЕРЕВЕДЕННЫХ НА ГАЗОВОЕ ТОПЛИВО ПРИ НИЗКОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Абраров Марсель Альмирович, к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и физики, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»  
E-mail: [01marsel@mail.ru](mailto:01marsel@mail.ru)*

**Аннотация:** В статье представлено описание способа облегчающего пуск конвертированных в газовый или газодизельный дизелей в условиях низких температур окружающей среды.

**Ключевые слова:** двигатель, газовое топливо, предпусковой подогреватель, тепловой аккумулятор.

**Введение.** Тепловые двигатели, на сегодняшний день остаются основным источником энергии в сельскохозяйственной отрасли, при этом основную часть составляют дизельные двигатели. Высокая цена на дизельное топливо, ужесточение требований к токсичности выхлопных газов и возможные проблемы с качеством топлива приводит к тому, что сельхозпроизводители постепенно переводят технику на альтернативные виды топлива. Возможной альтернативой дизельному топливу, при доработке двигателя, может быть газовое топливо [1-3]. Описание средств и способов перевода дизельного двигателя в газовой достаточно широко описано в научной литературе. Несмотря на доказанную эффективность конвертации существующих дизелей в газовый или газодизельный двигатель существует ряд нерешенных проблемы, в частности, проблема пуска двигателя при низких температурах окружающей среды при переводе его на газовое топливо [3]. Сущность проблемы состоит в том, что для адекватной работы системы подачи газового топлива необходимо подавать газовое топливо к газовым форсункам в газообразном состоянии. Однако, при низких значениях температуры окружающей среды, подводимой теплоты к газовому редуктору во время прогрева недостаточно, а момент пуска вовсе отсутствует.

**Цель.** Теоретическое исследование и описание способа облегчения пуска двигателей, работающих на газообразном топливе.

**Материалы и методы.** Решением проблемы пуска газового или конвертированного из дизельного в газовый двигателя может быть применение тепловой подготовки редуктора-испарителя [4]. Исследования, проводимые нами в данной области, позволили нам спроектировать систему питания для двигателей, работающих на газообразном топливе в том числе конвертированных в газовый, где используется редуктор-испаритель с теплоаккумулирующим материалом (рисунок 1). На данную разработку получен патент на изобретение [5].

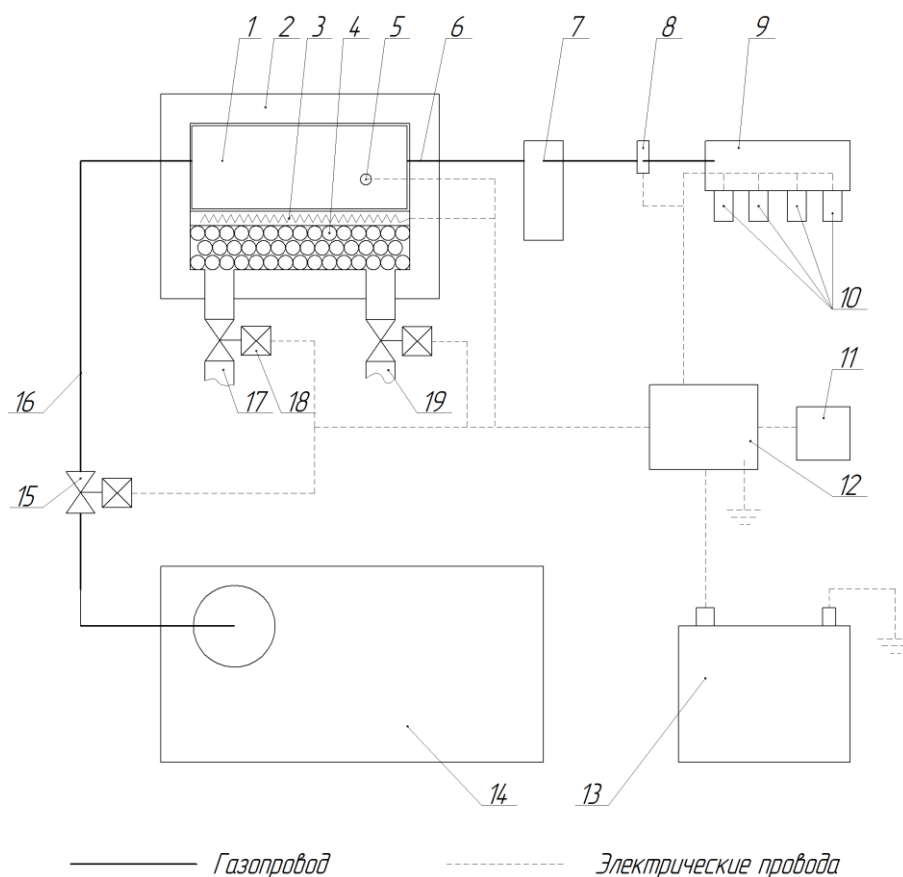


Рисунок 1 Спроектированная система питания двигателя, работающего на газообразном топливе.

Принцип работы разработанной системы питания заключается в следующем. Находящееся в баллоне 14 в сжиженном состоянии газовое топливо под высоким давлением по газопроводу 16 поступает в редуктор-испаритель 1. На линии высокого давления установлен электромагнитный клапан 15 для аварийного отключения подачи газа. В редукторе-испарителе 1 перед пуском двигателя происходит, подогрев газа от теплоаккумулирующих капсул, которые в свою очередь накопили теплоту во время работы двигателя. В случае продолжительного периода нахождения двигателя в нерабочем состоянии возможен предварительный подогрев редуктора от электроподогревателя. Далее газовое топливо в газовой фазе по газопроводу низкого давления 6 направляется в фильтр тонкой очистки 7, после этого в газовую рампу 9 и оттуда на газовые форсунки 10. Переход газового топлива из сжиженного в газообразные состояния происходит за счет снижения давления в редукторе-испарителе 1, при этом возникает интенсивное поглощение теплоты. Необходимое количество теплоты подводится охлаждающей жидкостью через трубопроводы 17 и 19 от системы охлаждения двигателя. Избыток теплоты аккумулируется в капсулах 4 с теплоаккумулирующим материалом. Система управляется электронным блоком 12, запитанного от аккумуляторной батареи 13. Редуктор-испаритель помещен в теплоизолированный корпус 2 для уменьшения тепловых потерь в окружающую среду. Также для снижения тепловых потерь от конвективного теплообмена полость в которой размещены теплоаккумулирующие капсулы и электроподогреватель разобщена от системы охлаждения двигателя

электромагнитными клапанами 18. Разработанная система применима и на многотопливных двигателях, для чего установлен переключатель видов топлива 11.

**Результаты и их обсуждение.** Возможность пуска двигателя зависит от достижения необходимой температуры газа в редукторе-испарителе, которая в свою очередь зависит от правильного определения количества теплоаккумулирующего материала (ТАМа), Рассмотрим процесс теплоотдачи от ТАМа к газу.

Для облегчения расчетов, примем следующее допущения:

- 1) так как редуктор-испаритель помещен теплоизолированный корпус, то теплообменной поверхностью служит только стенка между полостью с газом и полостью с ТАМом;
- 2) общая теплоемкость теплоаккумулирующего материала находится как сумма теплоёмкостей его составляющих

$$C_{cp} = C_T \cdot m_T + C_{c.k.} \cdot m_{c.k.} + C_{ож} \cdot m_{ож} \quad (1)$$

где  $C_T, C_{c.k.}, C_{ож}$  - удельные массовые теплоемкости соответственно ТАМа, стенки капсул ТАМа и охлаждающей жидкости, кДж/кг·К;

$m_T, m_{c.k.}, m_{ож}$  - массы ТАМа, стенки капсул ТАМа и охлаждающей жидкости, кг.

- 3) температура газового топлива на входе в редуктор-испаритель равна температуре газа в жидкой фазе  $T_{з.н.} = const$

Количество теплоты необходимое для повышения температуры газа до требуемого значения, определяется по выражению

$$q_2(\tau) = G_2(\tau) \cdot (c_2 \cdot \Delta T + r_2) \quad (2)$$

где  $G_2$  – расход газа, кг/с;

$c_2$  – теплоемкость газа, Дж/кг·К;

$\Delta T = T_{з.к.} - T_{з.н.}$  – разница температуры газа на выходе и входе в редуктор-испаритель, К;

$r_2$  – удельная теплота парообразования, Дж/кг·К;

Моментом начала процесса теплоотдачи является пуск двигателя. газовое топливо при этом имеет следующие параметры:  $G_2(\tau) = var$  и  $T_{з.н.}(\tau) = const$ . Далее топливо в редукторе-испарителе забирает часть теплоты от ТАМа и поступает в двигатель с параметрами  $G_2(\tau) = var$  и  $T_{з.к.}(\tau) = var$ .

Приняв описанные выше допущений процесс теплообмена между газовым топливом и теплообменной поверхностью (рисунок 2) при  $\tau > 0$  можно описать уравнением

$$q_2(\tau) = \alpha_2 \cdot F_{cm} \cdot (T_{cm}(\tau) - T_{з.к.}(\tau)), \quad (3)$$

где  $q_2(\tau)$  - количество теплоты, передаваемая газу, Вт;

$\alpha_2$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

$F_{cm}$  - площадь теплообменной поверхности, м<sup>2</sup>.

$T_{cm}(\tau)$  - средняя температура стенок капсул с ТАМом в момент времени  $\tau$ , К;  
 $T_{z.sp}(\tau)$  - средняя температура газового топлива в редукторе в момент времени  $\tau$ , К.

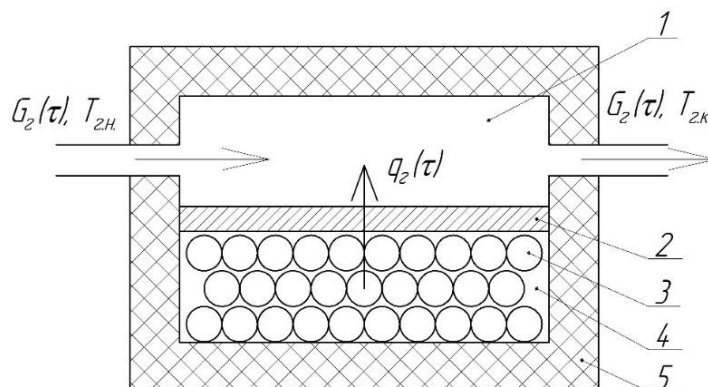


Рисунок 2 Схематичное изображение процесса отдачи теплоты ТАМом газовому топливу: 1 –полость редуктор-испарителя с газовым топливом; 2 – поверхность теплообмена; 3 –ТАМ; 4 – полость с ТАМом; 5 –корпус с тепловой изоляцией.

С учетом переменности температуры на выходе  $T_{z.n.}(\tau) = \text{var}$  средняя температура газового топлива в редукторе  $T_{z.sp}(\tau)$  будет определяться выражением

$$T_{z.sp}(\tau) = \frac{T_{z.n.} + T_{z.k}(\tau)}{2}. \quad (4)$$

Также, при  $\tau > 0$  будут справедливы следующие уравнения (рисунок 2)

$$q_z(\tau) = \lambda_T^{ms} \cdot \frac{T_\phi - T_{cm}(\tau)}{z(\tau)} \cdot F_{cm}; \quad (5)$$

$$q_z(\tau) = \rho_T^{ms} \cdot r_T \cdot \frac{dz(\tau)}{d\tau} \cdot F_{cm}, \quad (6)$$

где  $T_\phi$  - температура фазового перехода, К

$\lambda_T^{ms}$  - коэффициент теплопроводности ТАМа в твердом состоянии, Вт/(м·К);

$\rho_T^{ms}$  - плотность ТАМа в твердом состоянии, кг/м<sup>3</sup>;

$z(\tau)$  - толщина закристаллизовавшегося слоя ТАМа в момент времени  $\tau$ , м.

$r_T$  - удельная теплота фазового перехода, Дж/кг.

Представленная система уравнений (2–6) дает нам математическое описание процесса теплоотдачи от ТАМа газ в период пуска и прогрева двигателя.

### Заключение

Разработанная система, при правильном выборе количества ТАМа, позволит облегчить пуск газовых и конвертированных в газовый дизелей в условиях низких температур окружающей среды за счет обеспечения требуемой температуры и давления газового топлива.

## Библиографический список

1. Шатров М.Г., Хачиян А.С., Голубков Л.Н., Дунин А.Ю. Совершенствование рабочих процессов автотракторных двигателей и их топливных систем, работающих на альтернативных топливах. Монография. Москва, МАДИ, 2012. 220 с
2. Тихомиров, С.А. Разработка системы пуска и прогрева конвертированного автомобильного газового ДВС с дискретным дозированием топливоподачи / С.А.Тихомиров / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2014, 2014
3. Габдрафиков, Ф.З. Энергосберегающая система предпусковой тепловой подготовки двигателя / Ф.З. Габдрафиков, У.С. Галиакберов, В.М. Гиндуллин // Сельский механизатор. 2017. № 5. С. 30-31.
4. Система питания двигателя внутреннего сгорания сжиженным газом Габдрафиков Ф.З., Аббаров М.А., Аббаров И.А., Гиндуллин В.М., Галиакберов У.С., Утяшев И.Т. Патент на изобретение RU 2706899 С2, 21.11.2019. Заявка № 2017142518 от 05.12.2017.
5. Аббаров, М.А Модернизация системы питания газовых двигателей для работы в условиях низких температур / В сборнике: Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. материалы международной научно-практической конференции в рамках XXVIII Международной специализированной выставки "Агрокомплекс-2018". // Башкирский государственный аграрный университет. 2018. С. 224-227.