

## Турбомашины и поршневые двигатели

# ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТВОДИМОЙ ТЕПЛОТЫ ОТ ДВС. ЧАСТЬ 2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

- Попов Е.В., ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия

## POSSIBILITIES OF USING HEAT REMOVED FROM INTERNAL COMBUSTION ENGINES. PART 2. PROCEDURE FOR CALCULATING THE THERMAL LOAD OF A SHELL-AND-TUBE HEAT EXCHANGER YAMZ-238

- Popov E.V., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

В рамках исследования проведен анализ существующих теплообменников, применяемых для двигателя ЯМЗ-238. Теплообменники играют ключевую роль в системе охлаждения и являются важным элементом и напрямую влияют на эффективность двигателя. Важно отметить, что выбор теплообменника должен учитывать не только его теплотехнические характеристики, но и коррозионную стойкость материалов, из которых он изготовлен. Это особенно актуально в условиях эксплуатации, когда двигатель подвергается воздействию агрессивных сред и высоких температур. На основе полученных данных разработаны рекомендации по оптимизации работы системы охлаждения двигателя ЯМЗ-238 и выбору наиболее подходящих теплообменников. Эти рекомендации могут быть полезны как для производителей, так и для конечных пользователей, стремящихся повысить эффективность и надежность своих систем.

**Ключевые слова:** двигатель, ЯМЗ-238, теплообменники, эффективность

The study analyzed the existing heat exchangers used for the YaMZ-238 engine. Heat exchangers play a key role in the cooling system and are an important element affecting the efficiency of the engine. It is important to note that the choice of a heat exchanger should take into account not only its thermal characteristics, but also the corrosion resistance of the materials from which it is made. This is especially important under operating conditions when the engine is exposed to aggressive environments and high temperatures. Based on the data obtained, recommendations were developed to optimize the operation of the YaMZ-238 engine cooling system and select the most suitable heat exchangers. These recommendations can be useful for both manufacturers and end users seeking to improve the efficiency and reliability of their systems.

**Key words:** engine, YaMZ-238, heat exchangers, efficiency

## Введение

Дизельные поршневые установки мощностью до 200 кВт сегодня имеют высокую актуальность по ряду причин [1]:

1. Увеличение потребности в электроэнергии. В условиях растущих потребностей в энерге-

тических ресурсах возникают новые вызовы, и дизельные установки выступают надежным решением для обеспечения стабильного электроснабжения.

2. Развитие удаленных территорий. В регионах с ограниченным доступом к централизованным источникам электричества применение

дизельных генераторов становится жизненно необходимым для обеспечения базовых нужд, таких как освещение, водоснабжение и связь.

3. Пожарная безопасность и непрерывность процессов. Дизельные установки активно используются на предприятиях, где отключение электроэнергии может привести к серьезным финансовым потерям или авариям, что подчеркивает их важность в качестве резервных источников питания.

## Актуальность исследования

Таким образом, дизельные поршневые установки мощностью до 200 кВт играют важную роль в обеспечении надежного и эффективного энергоснабжения как в промышленных, так и в бытовых условиях. Они используются в различных сферах, таких как строительство, сельское хозяйство, коммунальные услуги и в условиях ограниченного доступа к централизованной электроэнергии.

## Исходные данные для расчета

Кожухотрубные теплообменники относятся к наиболее распространенным аппаратам. Их применяют для теплообмена и термохимических процессов между различными жидкостями,арами и газами как без изменения, так и с изменением их агрегатного состояния. Корпус кожухотрубного теплообменника представляет собой трубу, сваренную из одного или нескольких стальных листов. Кожухи различаются главным образом способом соединения с трубной доской и крышками. Толщина стенки кожуха определяется давлением рабочей среды и его диаметром, но принимается не менее 4 мм. К его цилиндри-

ческим кромкам приваривают фланцы для соединения с крышками или днищами. На наружной поверхности кожуха прикрепляют опоры аппарата.

В кожухотрубчатых теплообменниках проходное сечение межтрубного пространства в 2...3 раза больше проходного сечения внутри труб. Поэтому при равных расходах теплоносителей с одинаковым фазовым состоянием коэффициенты теплоотдачи на поверхности межтрубного пространства невысоки, что снижает общий коэффициент теплопередачи в аппарате. Устройство перегородок в межтрубном пространстве такого теплообменника способствует увеличению скорости теплоносителя и повышению эффективности теплообмена.

В таблице 1, 2 приведены исходные данные для двигателя ЯМЗ-238 [2].

Трубные доски служат для закрепления в них пучка труб при помощи развальцовки, разборток, заварки, запайки или сальниковых креплений. Материалом досок служит обычно листовая сталь толщиной не менее 20 мм.

В парожидкостных теплообменниках пар проходит обычно в межтрубном пространстве, а жидкость – по трубам. Разность температур стенки корпуса и труб обычно значительна. Для компенсации разности тепловых удлинений между кожухом и трубами устанавливают линзовье, сальниковые или сильфонные компенсаторы.

Трубы в решетках обычно равномерно размещают по периметрам правильных шестиугольников, то есть по вершинам равносторонних треугольников, реже применяют размещение труб по концентрическим окружностям. В отдельных случаях, когда необходимо обеспечить удобную очистку наружной поверхности труб, их размещают по периметрам прямоугольников.

**Таблица 1 – Исходные данные для утилизации теплоты антифриза**

УТА	Греющая сторона	Нагреваемая сторона
Среда	Этиленгликоль 50%	Вода
Расход, м <sup>3</sup> /ч	6,9	5,5
Температура на входе, °C	78	60
Температура на выходе, °C	86	70
Потери давления, м.в.ст.	2,77	1,35
Мощность, кВт		60
Рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>		6
Максимальная температура, °C		115
Минимальная температура, °C		0
Фланцы, Ду		50

Все указанные способы размещения труб преследуют одну цель – обеспечить более компактное размещение необходимой поверхности теплообмена внутри аппарата. В большинстве случаев наибольшая компактность достигается при размещении трубок по периметрам правильных шестиугольников.

Для увеличения скорости движения теплоносителей с целью интенсификации теплообмена нередко устанавливают перегородки как в трубном, так и в межтрубном пространствах.

## Порядок расчета тепловой нагрузки кожухотрубного теплообменника

Параметры теплоносителей при средних температурах воды  $t_{\text{в.ср}}$  и пара  $t_{\text{н.ср}}$ , °C определяются по формуле:

$$t_{\text{в.ср}} = 0,5(t'_v + t''_v) \quad (1)$$

где  $t'_v$  – температура воды на входе в подогреватель;  $t''_v$  – температура воды на выходе из подогревателя.

$$t_{\text{н.ср}} = 0,5(t_n + t_s) \quad (2)$$

где  $t_n$  – температура перегретого пара, °C;  $t_s$  – температура насыщенного пара, °C.

Количество теплоты, кВт, передаваемой паром воде, определяют по формуле:

$$Q = G_v \rho_v c_v (t'_v - t''_v) \quad (3)$$

где  $G_v$  – объемный расход воды, м<sup>3</sup>/с;  $c_v$  – теплопроводность воды, кДж/(кг·°C);

Количество теплоты, кВт, передаваемой паром воде в 1-й зоне теплообменника, вычисля-

**Таблица 2 – Исходные данные для утилизации теплоты газов**

УТГ	Греющая сторона	Нагреваемая сторона
Среда	Выхлопные газы	Вода
Расход	0,17 кг/с	5,5 м <sup>3</sup> /ч
Температура на входе, °C	450	70
Температура на выходе, °C	120	80
Потери давления, м.в.ст.	≤ 0,25	≤ 3
Мощность, кВт		60
Максимальное рабочее давление, МПа	-	0,6
Давление срабатывания ПК, МПа	-	1
Максимальная температура, °C	600	115
Фланцы, Ду	200	65

ют по формуле:

$$Q_1 = D_n c_n (t_n - t_s) \quad (4)$$

где  $D_n$  – массовый расход пара, кг/с,  $D_n = 8,14$  кг/с;  $c_n$  – теплопроводность пара, кДж/(кг·°C).

Массовый расход пара, кг/с, рассчитывают по формуле:

$$D_n = \frac{Q}{c_n(t_n - t_s) + r} \quad (5)$$

где  $r$  – теплота парообразования, кДж/кг, определяемая по температуре насыщения.

Количество теплоты, кВт, передаваемой паром воде во 2-й зоне теплообменника вычисляют по формуле:

$$Q_2 = D_n r \quad (6)$$

Суммарное значение переданной теплоты паром воде вычисляют по формуле:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (7)$$

## Выводы

В данном исследовании рассмотрены кожухотрубные теплообменники, являющиеся универсальными устройствами для эффективного теплообмена между различными средами [3]. Их конструкция, состоящая из прочного кожуха и пучка труб, позволяет изменять агрегатное состояние теплоносителей.

Создание собственных источников теплоты от работающих двигателей является перспективным исследованием [4].

Для дизеля ЯМЗ-238 выбран порядок расчета кожухотрубных теплообменников, который рекомендуется использовать для подобных двигателей.

## Список литературы

1. Хрипченко, М. С. Интеллектуальная система охлаждения двигателя внутреннего сгорания / М. С. Хрипченко, М. А. Лебедева // Воронежский научно-технический Вестник. – 2017. – Т. 2, № 2(20). – С. 103-109.
2. Попов, Е. В. Возможности использования отводимой теплоты от ДВС. Часть 1. Результаты расчета системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания ЯМЗ-238 / Е. В. Попов // Тепловые электрические станции. – 2025. – № 2(2). – С. 19-21.
3. Исследование плотности антифризов для силовых агрегатов различными методами / А. Н. Кувшинов, О. А. Кувшинова, А. В. Фильченков, И. П. Павкина // Сельский механизатор. – 2023. – № 6. – С. 32-35. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-6-32-33-34-35.
4. Мерзлов, А. Б. Создание собственных источников энергоснабжения на базе

газотурбинных и газопоршневых двигателей / А. Б. Мерзлов // Рудник будущего. – 2011. – № 2. – С. 117-122.

## References

1. Khrichenko, M. S. Intelligent cooling system of the internal combustion engine / M. S. Khrichenko, M. A. Lebedeva // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. - 2017. - Vol. 2, No. 2 (20). - P. 103-109.
2. Popov, E. V. Possibilities of using the heat removed from the internal combustion engine. Part 1. Results of calculating the cooling system of the YaMZ-238 internal combustion engine / E. V. Popov // Thermal power plants. - 2025. - No. 2 (2). - P. 19-21.
3. Study of the density of antifreezes for power units by various methods / A. N. Kuvshinov, O. A. Kuvshinova, A. V. Filchenkov, I. P. Pavkina // Rural mechanic. - 2023. - No. 6. - P. 32-35. - DOI 10.47336/0131-7393-2023-6-32-33-34-35.
4. Merzlov, A. B. Creation of own energy sources based on gas turbine and gas piston engines / A. B. Merzlov // Mine of the future. - 2011. - No. 2. - P. 117-122.

## Сведения об авторе

**Попов Евгений Владимирович** – магистрант кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», evgen-23@inbox.ru.

**Дата поступления рукописи:** 04.08.2025

**Дата принятия рукописи:** 16.09.2025