

Моделирование системы утилизации тепла ДВС специальной и автотранспортной техники

В.В. Конев, Д.В. Райшев, Г.Г. Закирзаков, С.В. Созонов

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Аннотация: обеспечение работоспособности специальной и автотранспортной техники при низких отрицательных температурах зависит в первую очередь от надежности запуска двигателя внутреннего сгорания. В условиях автономного функционирования машин возникает необходимость использования ее внутренних источников. Это можно осуществить использованием системы утилизации тепла двигателя внутреннего сгорания. Для этого предлагаются тепловые аккумуляторы. С целью повышения их эффективности (тепловой потенциал, габариты) рассмотрено три конструкции двухкамерного теплового аккумулятора. Для описания теплопередачи теплового аккумулятора определены условия однозначности, в соответствии с которыми проведено моделирование тепловых процессов теплоаккумулятора.

Ключевые слова: эксплуатация, тепловой аккумулятор, тепловая подготовка ДВС, теплопередача, система утилизации тепла, низкие отрицательные температуры.

При эксплуатации специальной и автотранспортной техники в условиях Крайнего Севера и Арктики возникают проблемы с обеспечением ее работоспособности [1 - 6]. Основным фактором, определяющим готовность специальной и автотранспортной техники к работе после межсменной открытой стоянки, является температура ДВС перед пуском [7]. На изменение теплового состояния ДВС влияет температура окружающего воздуха. Поэтому задача сводится к нейтрализации влияния температуры окружающей среды. Это достигается путем сохранения в межсменный период тепла ДВС (охлаждающей жидкости), накопленного во время работы машины, а также повышением температуры охлаждающей жидкости (ОЖ) перед тепловой подготовкой ДВС без затрат дополнительной внешней энергии [8].

Для решения этой задачи предложена система утилизации тепла ДВС с использованием двухкамерного теплового аккумулятора (ТА) [9]. Исследуется три варианта конструкции ТА (рис.).

Температура первой камеры равна температуре ОЖ в ДВС при работе, т.е. 80-90 °С, а объем равен объему подрубашечного пространства ДВС с небольшим запасом. Температуру второй камеры и количество теплоаккумулирующего материала (ТАМ) следует определить из условия необходимого, для надежного запуска ДВС.

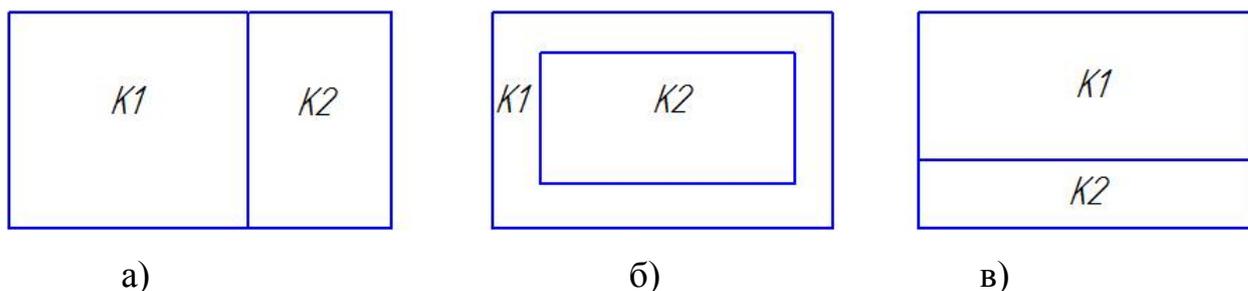


Рис. Расположение камер в двухкамерном теплоаккумуляторе: а) первая камера (K1) имеет общую стенку с второй камерой (K2); б) вторая камера внутри первой камеры; в) вторая камера под первой камерой.

Для определения количества тепла ТАМ (тепловой потенциал K2) необходимо определить закономерность теплопередачи K1 к окружающей среде.

Итак, рассмотрим теплопередачу ТА, состоящего из одной камеры. В нем теплоносителем является ОЖ, помещенная в металлическую емкость. Емкость теплоизолирована пенопластом от воздействия окружающей среды. На процесс охлаждения оказывает воздействие также скорость ветра и геометрические размеры ТА.

Примем в качестве рабочей следующую гипотезу изменения температуры ТА:

$$t_k = t_y - (t_y - t_n) e^{-m\tau}. \quad (1)$$

Где t_k - температура ТА через время τ после начала охлаждения, °С; t_y - установившаяся температура, °С; t_n - начальная температура ДВС, °С; m - темп охлаждения (относительная скорость изменения температуры тела),

мин⁻¹; τ - время охлаждения, мин; $(t_y - t_k)$ - перепад температуры (избыточная температура).

Избыточная температура в любой заданный момент времени для члена ряда n определяется по формуле [10]:

$$\vartheta = \Delta t = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot U_n \cdot e^{-m_n \tau} . \quad (2)$$

Где, A_n - постоянный коэффициент, свой для каждого члена ряда, находимый из начальных условий; U_n - функция координаты линейного размера тела, находится в зависимости от формы тела и условий охлаждения (1); m_n - темп охлаждения для члена ряда n (относительная скорость изменения температуры тела); τ - время процесса.

Так как, с увеличением времени все члены ряда на небольшом интервале времени станут малы, то ими можно пренебречь. Поэтому температура любой точки тела задолго до выравнивания ее температуры с температурой окружающей среды будет определяться первым членом ряда, т. е., простым экспоненциальным законом.

В зависимости (1) задача сводится к определению темпа охлаждения (m). Темп охлаждения зависит от множества факторов: температуры жидкости, формы и размеров тела (D, L - соответственно диаметр и высота), режима движения среды, физических параметров жидкости и других величин.

Для описания теплопередачи ТА зададим следующие условия однозначности:

1. Геометрические условия, ТА - цилиндр, $D = L$ (соответственно диаметр и высота).

2. Физические условия, характеризующие физические свойства среды и тела, ОЖ ($c, \lambda, p, t, \nu, \beta$), воздух (t, p, ν), сталь углеродистая (c, λ, t, ρ), пенопласт (c, λ, t, ρ).

3. Временные (начальные) условия, характеризующие распределение температур в изучаемом теле: в начальный момент времени (при $\tau = 0$).

$$t=f(x, y, z). \quad (3)$$

Граничные условия, характеризующие взаимодействие рассматриваемого тела с окружающей средой, задаются распределением температуры на поверхности тела для каждого момента времени. Режим охлаждения - нестационарный. Согласно закону сохранения энергии количество теплоты, которое отводится с единицы поверхности в единицу времени вследствие теплоотдачи, должно равняться количеству теплоты, подводимому к единице поверхности в единицу времени вследствие теплопроводности из внутренних объемов тела, т.е.:

$$\alpha(t_c - t_{жс}) = -\lambda(dt/dn)_c. \quad (4)$$

Процесс охлаждения можно описать с помощью уравнения теплового баланса:

$$dQ_1 = dQ_2 + dQ_3. \quad (5)$$

Где, dQ_1 - теплота, подводимая к поверхности ТА; dQ_2 – теплота, отданная поверхностью ТА посредством конвекции; dQ_3 - теплота, излучаемая поверхностью ТА.

Процесс переноса тепла между ТА и окружающим его воздухом является результатом совместного действия конвективного теплообмена и теплового излучения (сложный теплообмен). Таким образом, теплота, отводимая от ТА путем конвекции определяется:

$$dQ_2 = \alpha dt dH d\tau. \quad (6)$$

Где, α - коэффициент теплоотдачи с поверхности ТА в окружающую среду; dt - перепад температур между ТА и окружающей средой. В начальный момент времени $\tau = 0$ перепад температур между ТА и температурой окружающего воздуха $dt = t_n - t_e$; dH - площадь наружной поверхности ТА; $d\tau$ - время охлаждения.

Тепло, которое отдает стенка в единицу времени вследствие поглощения газа:

$$dQ_3 = \varepsilon_{\text{эф}} [\varepsilon_2 (T_2/100)^4 - a_2 (T_c/100)^4] dH. \quad (7)$$

Где, T_2 , T_c - соответственно температуры окружающего воздуха (газа) и ТА; $\varepsilon_{\text{эф}}$ - эффективная степень черноты стенки; ε_2 - степень черноты газа; a_2 - поглощательная способность газа.

Тепло, подводимое к поверхности ТА теплопроводностью определяется через коэффициент теплопередачи, учитывающий два плотно прилегающих друг к другу слоев из различных материалов (сталь и пенопласт):

$$dQ_1 = K (t_1 - t_2) dH^l. \quad (8)$$

Где, K - коэффициент теплопередачи цилиндрической стенки; t_1, t_2 - соответственно температура внутри и снаружи полого цилиндра; H^l - площадь внутренней поверхности цилиндра.

$$m = 1/\tau \ln[(t_y - t_n)/(t_y - t_k)], \quad (9)$$

или

$$m = \frac{\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2}{\tau_2 - \tau_1} = \text{tg} \varphi. \quad (10)$$

Где, $\text{tg} \varphi$ - тангенс угла наклона прямой в полулогарифмических координатах; $\ln \vartheta_1$ и $\ln \vartheta_2$ - соответственно значения избыточной температуры в произвольные моменты времени τ_1 и τ_2 .

Скорость охлаждения это функция по изменению избыточной температуры во времени, а изменение избыточной температуры зависит от коэффициента теплопередачи, который определяется от коэффициента теплоотдачи α .

Поэтому определение темпа охлаждения ТА сводится к определению внешнего коэффициента теплоотдачи α , что можно сделать по критериальным уравнениям вида:

$$Nu = C Gr^n Pr^m (Pr_{жс}/Pr_{см})^{0,25}, \quad (11)$$

$$Nu = C Gr^n Pr^m, \quad (12)$$

При наличии ветра, т.е. вынужденной конвекции, рекомендуется одно из следующих уравнений:

при $Re \leq 10^3$,

$$Nu = 0.5 \cdot Re_c^{0,5} \cdot Pr_c^{0,38} \cdot \left(\frac{Pr_c}{Pr_c} \right)^{0,25} \quad (13)$$

при $10^3 < Re < 2 \cdot 10^5$.

$$Nu = 0.25 \cdot Re_{жс}^{0,6} Pr_{жс}^{0,38} \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_c} \right)^{0,25}. \quad (14)$$

Где, C , n , m - постоянные; Nu , Gr , Pr - соответственно критерии Нуссельта, Грасгофа, Прандтля.

Для проверки результатов теоретических исследований следует провести эксперимент. Необходимо измерить температуру ОЖ и температуру стенки ТА в различные моменты времени при известной температуре наружного воздуха, а также при отсутствии или наличии ветра, зная величину силы ветра.

Обработка результатов экспериментов по интенсивности охлаждения ТА следует проводить в виде графической зависимости $\ln \vartheta = f(\tau)$, по уравнению (10).

Литература

1. Карнаухов Н.Н. Приспособление строительных машин к условиям Российского Севера и Сибири. - М.:Недра, 1994. 351 с.
2. Карнаухов В.Н. Сбережение топливно-энергетических ресурсов при использовании автомобильного транспорта зимой. - М.:ОАО Издательство «Недра», 1998. 180 с.



3. Созонов С.В., Бородин Д.М., Обухов А.Г., Конев В.В., Карнаухов М.М. Ремонт автотранспортной и специальной техники в полевых условиях//Инженерный вестник Дона, 2014, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2510.

4. Мерданов Ш.М., Конев В.В., Пирогов С.П., Бородин Д.М., Созонов С.В. Применение аналогово-цифрового преобразователя при оценке теплового состояния элементов гидропривода // Инженерный вестник Дона, 2014, №2, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2420.

5. Thermal preparation of the trailbuilder fluid drive Konev V., Merdanov S., Karnaukhov M., Borodin D. WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. T. 190 volume 1. pp. 697-706.

6. Sh. Merdanov, V. Konev, S. Sozonov, Experimental research planning heat training hydraulic motors: Scientific enquiry in the contemporary, world: theoretical basics and innovative approach, Vol. 5. - Technical Sciences. Research articles, B&M Publishing (San Francisco, California, USA) 2014. – pp.113-117.

7. Захаров, Н.С. Взаимосвязь между климатическими факторами / Н.С. Захаров, Г.В. Абакумов, А.Н. Ракитин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 1. – С. 26-29.

8. Математическое моделирование теплового состояния строительно-дорожных машин Конев В.В., Закирзаков Г.Г., Райшев Д.В., Мерданов М.Ш., Саудаханов Р.И. Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 320.

9. Карнаухов Н.Н., Конев В.В., Разуваев А.А., Юринов Ю.В. Система предпусковой тепловой подготовки ДВС и гидропривода Пат. 2258153 Рос. Федерация, МПК7 F02N 17/06; заявитель и патентообладатель ТюмГНГУ. - № 2004104477/06; заявл. 16.02.2004; опубл. 10.08.2005, Бюл. № 22.

10. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учебник 4-е изд. - М.: Энергоиздат, 1981. - 416 с.

References

1. Karnauhov N.N. Prispособlenie stroitel'nyh mashin k uslovijam Rossijskogo Severa i Sibiri. [Adaptation of building machines to the conditions of the Russian North and Siberia]. M.: Nedra, 1994. 351p.
2. Karnauhov V.N. Sbezhenie toplivno-jenergeticheskikh resursov pri ispol'zovanii avtomobil'nogo transporta zimoj. [Conserve energy resources by using road transport in winter]. M.: OAO Izdatel'stvo «Nedra», 1998. 180 p.
3. Sozonov S.V., Borodin D.M., Obuhov A.G., Konev V.V., Karnauhov M.M. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2510.
4. Merdanov Sh.M., Konev V.V., Pirogov S.P., Borodin D.M., Sozonov S.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2420.
5. Konev V., Merdanov S., Karnaukhov M., Borodin D. WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2014. T. 190 volume 1. pp. 697-706.
6. Merdanov Sh., Konev V., Sozonov S. Scientific enquiry in the contemporary, world: theoretical basiss and innovative approach, Vol. 5. Technical Sciences. Research articles, B&M Publishing (San Francisco, California, USA) 2014. pp. 113-117.
7. Zaharov N.S., Abakumov G.V., Rakitin A.N. Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja. 2014. № 1. pp. 26-29.
8. Konev V.V., Zakirzakov G.G., Rajshev D.V., Merdanov M.Sh., Saudahanov R.I. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. № 6. S. 320.
9. Karnauhov N.N., Konev V.V., Razuvaev A.A., Jurinov Ju.V. Sistema predpuskovoij teplovoj podgotovki DVS i gidroprivoda Pat. 2258153 Ros. Federacija, MPK7 F02N 17/06; zajavitel' i patentoobladatel' TjumGNGU. № 2004104477/06; zajavl. 16.02.2004; opubl. 10.08.2005, Bjul. № 22.



10. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. Теплопередача: учебник 4-е изд. [Heat Transfer: textbook 4th edition] М.: Энергоиздат, 1981. 416 p.