

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МАСЛА В ФИЛЬТРЕ ТОНКОЙ ОЧИСТКИ ИЗ УГЛЕРОДНОЙ ТКАНИ

А.Н. Карташевич, докт. техн. наук, профессор, В.Г. Костенич, ассистент (УО ВГСХА)

Аннотация

В результате анализа литературных данных установлено, что значительная часть (до 70 %) износа деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС) приходится на период его пуска и прогресса. Одной из основных причин повышенного пускового износа ДВС является поступление к трущимся деталям неочищенного масла через открытый перепускной клапан вследствие высокой вязкости холодного масла.

Для снижения пускового износа ДВС предлагается использование масляного фильтра с фильтрующим элементом из углеродной ткани, который позволяет осуществлять подогрев проходящего через него масла и тем самым предотвращает открытие перепускного клапана фильтра.

В статье получены математические зависимости распределения температуры масла, изменяющейся при прохождении через фильтрующий элемент под действием внутреннего равномерно распределенного источника теплоты.

Результаты работы могут использоваться для моделирования различных условий протекания процесса и определения конструктивных параметров фильтрующего элемента и мощности, затрачиваемой на электронагрев масла

Введение

При пуске и прогреве двигателя внутреннего сгорания в условиях низких температур особенно важно обеспечение надежной работы системы смазки. Наиболее эффективными методами создания оптимальных условий для пуска ДВС при низких температурах являются его предпусковой разогрев [1–3] или применение различных пусковых приспособлений [4]. Известны также конструкции, в которых масляный фильтр и масляный радиатор объединены в один агрегат [5, 6], что позволяет ускорить прогрев масла после пуска ДВС. Однако разогрев двигателя требует значительных затрат тепловой или электрической энергии и не всегда экономически целесообразен, а применение пусковых приспособлений ведет к усложнению конструкции и обслуживания ДВС.

Исследованиями [7] установлено, что от 35 до 45 % отказов автотракторной техники приходится на двигатель. Также известно, что на долю пусков приходится от 50 до 70 % общего износа двигателя [8]. Пусковой износ в значительной степени обусловлен открытием перепускного клапана полнопоточного масляного фильтра или центрифуги вследствие высокой вязкости холодного масла при пуске непрогретого двигателя и поступления его к подшипникам неочищенным [9]. Согласно данным работы [10] даже небольшой пропуск нефилтрованного масла через открытый перепускной клапан вызывает увеличение абразивного износа деталей до 10 раз и более.

Основная часть

Для снижения пускового и общего износа ДВС нами предлагается использование для очистки масла в автотракторных двигателях полнопоточного регенерируемого фильтра с фильтрующим элементом (ФЭ) из углеродной ткани [11], схема которого представлена на рис. 1.

Фильтр содержит цилиндрический корпус 1 и установленный соосно фильтрующий элемент, состоящий из верхнего 2 и нижнего 3 торцевых дисков.

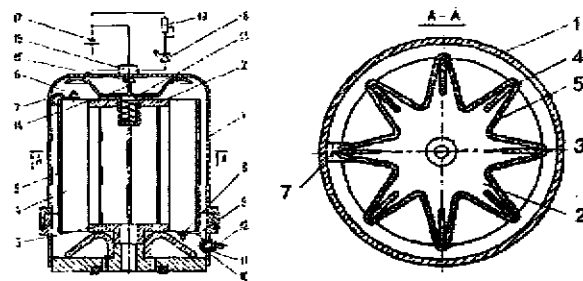


Рис. 1. Регенерируемый фильтр для очистки масла двигателя внутреннего сгорания: 1 – корпус фильтра; 2 и 3 – торцевые диски; 4 – пластины; 5 – фильтрующая углеродная ткань; 6, 8 и 12 – клеммы; 7 – упругий контакт; 9 – соединительный проводник; 10 – текстолитовая втулка; 11 – текстолитовая шайба; 13 – перепускной клапан; 14 – стержень; 15 – постоянный магнит; 16 – магнитоиндуктивная интегральная микросхема; 17 – источник питания; 18 – светодиод; 19 – регулируемый резистор

Диски выполнены в виде многолучевой звезды из неэлектропроводного термостойкого материала и соединены между собой при помощи пластин 4, расположенных в прорезях дисков. На каркас, образуемый торцевыми дисками 2 и 3 и пластинами 4, уложена лента 5 из углеродной ткани и приклеена к боковой поверхности торцевых дисков термостойким клеем. Одна из пластин при помощи клеммы 6 и упругого контакта 7 соединена с корпусом фильтра («массой»). Другая, диаметрально противоположная ей пластина, при помощи клеммы 8 и проводника 9 соединена с изолированной от корпуса посредством текстолитовых втулки 10 и шайбы 11 и выведенной наружу клеммой 12.

На перепускном клапане 13 установлен стержень 14, на конце которого находится постоянный магнит 15. По оси цилиндрического корпуса 1 установлена магниточувствительная интегральная микросхема 16, соединенная с источником питания 17. К выходу микросхемы 16 последовательно подсоединены светодиод 18 и регулируемый резистор 19.

Регенерируемый фильтр работает следующим образом. Масло, проходя через углеродную ткань 5, очищается от механических примесей. При этом перепускной клапан 13 закрыт, постоянный магнит 15 находится в верхнем положении, на выходе магниточувствительной микросхемы 16 устанавливается напряжение логического нуля, и светодиод 18 не высвечивается.

По мере накопления загрязнений на углеродной ткани её гидравлическое сопротивление возрастает, что приводит к открытию перепускного клапана 13. При этом стержень 14 с магнитом 15 перемещается вниз, на выходе магниточувствительной микросхемы 16 появляется напряжение логической единицы, электрический ток от источника питания 17 поступает к светодиоду 18, который начинает высвечиваться, сигнализируя о необходимости регенерации ФЭ, подробное описание которой приведено в работе [11].

Имеется также возможность подогрева проходящего через ФЭ масла при запуске двигателя посредством пропускания электрического тока через фильтрующую штору, чем достигается снижение перепада давления на фильтре и предупреждается открытие перепускного клапана, а, следовательно, и подача неочищенного масла к парам трения двигателя.

Целью данной работы является теоретическое определение температуры масла на входе в ФЭ в зависимости от его конструктивных параметров и мощности, затрачиваемой на электроподогрев масла.

Процесс охлаждения пористых тел продуванием через их поры жидкости или газа получил название пористого охлаждения. Способ пористого охлаждения в настоящее время широко применяется в технике. Одним из главных преимуществ этого метода является возможность достижения эффективного отвода теплоты при малых градиентах температуры внутри тела.

В последнее время все большее применение в

качестве фильтрующих материалов находят углеродные ткани. Они обладают высокой тепло- и электропроводностью, химической и термической стойкостью, имеют высокую прочность. Используя свойство электропроводности углеродных тканей при фильтровании через них масел можно одновременно производить и их подогрев, снижая тем самым гидравлическое сопротивление ФЭ. Для определения параметров ФЭ необходимо знать распределение температуры масла в пространстве и во времени, т.е. найти температурное поле. Поскольку в данном случае мы имеем дело с фильтрованием жидкости через пористую перегородку, в которой осуществляется ее подогрев, то речь может идти о пористом охлаждении пластины с внутренним источником теплоты.

Для решения задач, связанных с нахождением температурного поля, необходимо иметь дифференциальное уравнение теплопроводности, которое представляет собой математическую зависимость между физическими величинами, характеризующими изучаемое явление (температура, время, координаты точки в пространстве), т.е. математически описывает процесс переноса теплоты внутри тела.

Для того, чтобы найти температурное поле внутри тела в любой момент времени, т.е. решить дифференциальное уравнение, необходимо знать распределение температуры внутри тела в начальный момент времени (начальное условие), геометрическую форму и размеры тела и закон взаимодействия между окружающей средой и поверхностью тела (граничное условие).

Рассмотрим процесс теплообмена в системе тел «жидкость – пористая пластина». Очевидно, что теплота в самой пластине будет передаваться за счет теплопроводности. Передача же теплоты от пористой пластины к жидкости будет осуществляться тремя способами: теплопроводностью, конвекцией и излучением, однако интенсивность этих процессов будет существенно отличаться. Так, исследованиями [12, 13] установлено, что количество теплоты, передаваемой излучением, для пористых тел не превышает 1,5 % от количества теплоты, передаваемой теплопроводностью, следовательно, передачей теплоты излучением мы можем пренебречь практически без ущерба для точности расчетов. Так же, в соответствии с данными работы [13], конвективный теплообмен в пористых системах приходится учитывать, если размеры пор больше 5 мм. Углеродные ткани имеют размеры пор на 2–3 порядка меньше, и поэтому мы полагаем, что передача теплоты от пористого тела к жидкости происходит только теплопроводностью в ламинарном пограничном слое, т.е. в данном случае имеет место теплообмен, соответствующий граничному условию четвертого рода.

Фильтрующую перегородку, сложенную в виде многолучевой звезды, будем рассматривать как пористую пластину толщиной δ (рис. 2) с постоянной теплопроводностью λ_m и внутренним равномерно распределенным источником теплоты мощностью q_v .

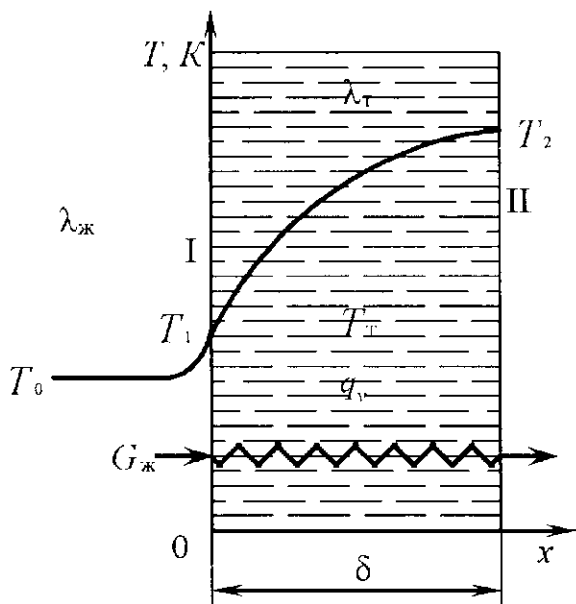


Рис. 2. Расчетная схема к выводу дифференциального уравнения теплопроводности системы тел «жидкость – пористая пластина»

Поскольку размеры пластины в направлениях y и z велики по сравнению с толщиной пластины δ в направлении x , то такую пластину можно рассматривать как неограниченную, а температурное поле пластины считать одномерным.

Сформулируем задачу следующим образом: жидкость с начальной температурой $T = T_0$ (при $x \rightarrow -\infty$) под действием перепада давлений ΔP проходит через неограниченную пористую пластину с пористостью Π и толщиной δ , внутри которой имеется равномерно распределенный постоянный источник теплоты мощностью q_v . Передача теплоты от пористой пластины к жидкости происходит теплопроводностью в ламинарном пограничном слое (теплообмен при граничном условии четвертого рода). Внутри пористой пластины (при $0 \leq x \leq \delta$) температура жидкости T_j совпадает с температурой пористой пластины T_m , т.е. $T_j = T_m = T$. Температура пластины на поверхности I (при $x = 0$) равна T_1 , а на поверхности II (при $x = \delta$) соответственно T_2 , причем $T_2 > T_1 > T_0$. Также известен удельный массовый расход жидкости G_j , кг/(м²·с), удельная изобарная теплоемкость $C_{pж}$, теплопроводность λ_j и плотность ρ_j которой постоянны.

Требуется определить температуру жидкости (масла) T_1 на входе в пористую пластину (ФЭ), т.к. данная температура определяет вязкость жидкости, а, следовательно, и перепад давлений на ФЭ. Подогрев масла на входе в ФЭ позволит предотвратить открытие перепускного клапана фильтра и поступление неочищенного масла к деталям двигателя.

Поскольку, во-первых, расход масла через главную масляную магистраль в непрогретом двигателе значительно меньше номинального из-за высокой вязкости

холодного масла, и, во-вторых, масло, подогретое в фильтре, охлаждается при контакте с холодными деталями двигателя и стекает в поддон картера, повышением начальной температуры масла T_0 в период пуска двигателя пренебрегаем и считаем ее постоянной, а режим теплообмена – стационарным.

Введя в известное дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье [14, 15] внутренний равномерно распределенный источник теплоты мощностью q_v , теплопроводность жидкости λ_j и эквивалентную теплопроводность λ_s , и подставив вместо удельного массового расхода жидкости его значение из выражения $G_j = \rho_j w_j$, получим дифференциальные уравнения для распределения температуры в системе «жидкость – пористая пластина» в стационарном состоянии системы в виде:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{C_{pж} \rho_j w_j}{\lambda_j} \frac{dT}{dx} = 0, \quad (\text{при } -\infty < x < 0), \quad (1)$$

$$\lambda_s \frac{d^2 T}{dx^2} - C_{pж} \rho_j w_j \frac{dT}{dx} = -q_v, \quad (\text{при } 0 \leq x \leq \delta), \quad (2)$$

где λ_s – эквивалентная теплопроводность, рекомендуемая к применению А.В. Лыковым [15] и Г.Т. Сергеевым [16] для случая продувания жидкости через пористые материалы и определяемая из выражения:

$$\lambda_s = \lambda_m + \Pi (\lambda_j - \lambda_m). \quad (3)$$

Граничные условия для уравнений (1) и (2) имеют вид:

$$T_{-x \rightarrow 0} = T_{-x \rightarrow 0}, \quad (4)$$

$$T_{x \rightarrow \delta} = T_{x \rightarrow \delta}, \quad (5)$$

$$\lambda_j \left(\frac{dT}{dx} \right)_{-x \rightarrow 0} = \lambda_s \left(\frac{dT}{dx} \right)_{+x \rightarrow 0}, \quad (6)$$

$$\lambda_s \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x \rightarrow \delta} = \lambda_j \left(\frac{dT}{dx} \right)_{x \rightarrow \delta}, \quad (7)$$

$$T(-\infty) = T_0 = const. \quad (8)$$

Условие (4) означает отсутствие скачка температуры при входе жидкости в пористую пластину, а условие (5) – при выходе жидкости. Условия (6) и (7) предполагают равенство тепловых потоков на границах раздела фаз, т.е. на поверхностях I и II пористой пластины. Условие (8) задает начальную температуру жидкости.

Уравнения (1) и (2) являются обыкновенными дифференциальными уравнениями второго порядка. Уравнение (1) является однородным, а уравнение (2) – неоднородным. Решение уравнения (1) имеет вид [17]:

$$T = C_1 + C_2 e^{k_1 x}, \quad (9)$$

$$\text{где } k_1 = \frac{C_{pж} \rho_j w_j}{\lambda_j}.$$

Функция (9) определяет температуру жидкости до ее входа в пористую пластину с внутренним источником теплоты.

Решение уравнения (2) имеет вид [17]:

$$T = C_1 + C_2 e^{\lambda x} + Qx, \quad (10)$$

$$\text{где } k = \frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}}{\lambda}; \quad Q = \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}}.$$

Третье слагаемое Qx в уравнении (10) представляет собой частное решение уравнения (2), прибавленное к общему решению однородного уравнения, соответствующего уравнению (2).

Определив постоянные интегрирования подстановкой граничных условий в уравнения (9) и (10), получим стационарное распределение температуры жидкости вне пористой пластины (при $-\infty < x < 0$) в виде:

$$T = T_0 + \left[\left(T_2 - T_0 - \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \right) e^{-kx} - \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} x \right] e^{\frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}}{\lambda_2} x}, \quad (11)$$

где Kn – число охлаждения пористых тел [15], с учетом уравнения (3), равно:

$$Kn = \frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж} \delta}{\lambda_2}.$$

Распределение температуры жидкости в пористой пластине (при $0 \leq x \leq \delta$) имеет вид:

$$T = T_2 + \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} + \left(T_2 - T_0 - \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \right) e^{-k(x-\delta)} + \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} x. \quad (12)$$

Температура T_2 в выражении (12) определяется из уравнения теплового баланса для ФЭ по методике, приведенной в разделе «Теплоотдача тел в условиях электронагрева» [18].

Анализируя выполненное решение, можно сделать вывод, что возможны различные варианты протекания процесса нагрева жидкости в пористой пластине. Из физического смысла задачи следует, что полученное решение (12) для распределения температуры жидкости в пористой пластине должно быть возрастающей функцией. Поэтому для производной от температуры T должно выполняться условие:

$$T'(x) = \frac{dT(x)}{dx} \geq 0, \quad (\text{при } -\infty < x \leq \delta).$$

Обозначим

$$T' = T', \quad (\text{при } -\infty < x < 0),$$

$$T' = T', \quad (\text{при } 0 \leq x \leq \delta).$$

Пусть $\Delta T = T_2 - T_0 > 0$ – изменение температуры жидкости под действием источника теплоты мощностью q_v , равномерно распределенного по толщине пористой пластины. Тогда для производной от температуры жидкости внутри пористой пластины получим неравенство:

$$T' = \frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}}{\lambda_2} \left(\Delta T - \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \right) e^{Kn \frac{(x-\delta)}{\delta}} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \geq 0, \quad (13)$$

или

$$\left(\Delta T - \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \right) e^{Kn \frac{(x-\delta)}{\delta}} + \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} \geq 0. \quad (14)$$

Теоретически возможны следующие три варианта изменения температуры жидкости в пористой пластине.

1. Если коэффициент при экспоненте больше нуля, тогда имеем:

$$\Delta T - \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \geq 0 \Leftrightarrow \Delta T \geq \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} + \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta. \quad (15)$$

В этом случае производная от температуры (13) при прохождении жидкости сквозь пористую пластину строго возрастает (за счет возрастания экспоненты). График изменения температуры будет представлен кривой, обращенной выпуклостью вниз (рис. 3, кривая 1).

По мере прохождения жидкости сквозь пористую пластину скорость роста температуры будет увеличиваться.

2. Если коэффициент при экспоненте равен нулю, получим:

$$\Delta T - \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta = 0 \Leftrightarrow \Delta T = \frac{\lambda_2 q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} + \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta. \quad (16)$$

Следовательно, производная от температуры (13) будет постоянной, а температура жидкости при про-

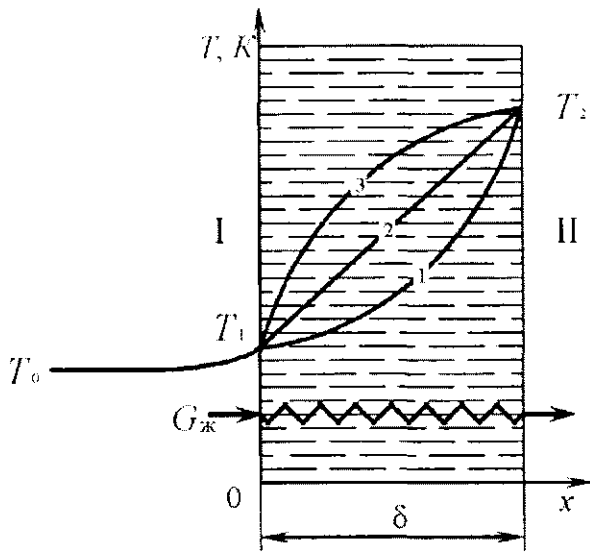


Рис. 3. Теоретически возможные варианты графиков изменения температуры жидкости в пористой пластине

хождении ее сквозь пористую пластину будет возрастать линейно (рис. 3, прямая 2):

$$T = T_0 + \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} + \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} x. \quad (17)$$

Первые два слагаемых в уравнении (17) – температура жидкости при входе в пористую пластину.

3. Если коэффициент при экспоненте меньше нуля, то получим:

$$\Delta T - \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \leq 0 \Leftrightarrow \Leftrightarrow \Delta T \leq \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} + \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta. \quad (18)$$

В этом случае производная от температуры жидкости (13) убывает (из-за отрицательного коэффициента при возрастающей экспоненте). Наименьшее значение производная будет иметь при $x = \delta$, поэтому одновременно должны выполняться неравенства (14) и (18) для $x = \delta$:

$$\left. \begin{aligned} \left[\Delta T - \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \right] e^{\frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж} x}{\lambda_s}} + \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} &= \\ = \Delta T - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \geq 0, & \\ \Delta T - \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \leq 0. & \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Система неравенств (19) эквивалентна двойному неравенству

$$\frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \leq \Delta T \leq \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta + \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2}. \quad (20)$$

При выполнении условий (20) скорость роста температуры жидкости внутри пористой пластины будет уменьшаться, а график будет обращен выпуклостью вверх (рис. 3, кривая 3).

Случай, когда температура жидкости на правой границе пластины достигает экстремума, соответствует равенству нулю при $x = \delta$ производной в выражении (13), а первое выражение в системе неравенств (19) будет равенством, т.е.

$$\Delta T = \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta. \quad (21)$$

И, наконец, выполнение соответствующих условий случаев 1, 2 и 3 обеспечивает выполнение условия неотрицательности производной T' (т.е. возрастания температуры жидкости вне пластины при $x < 0$), поскольку из выражений (11) и (13) при $x = 0$ следует

$$T'_- = \frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}}{\lambda_s}.$$

$$\left[\left(\Delta T - \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \right) e^{kn} + \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} \right] e^{\frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж} x}{\lambda_s}} = \frac{\lambda_s}{\lambda_s}.$$

$$\left[\frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}}{\lambda_s} \left(\Delta T - \frac{\lambda_s q_v}{(C_{рж} \rho_{ж} W_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \delta \right) e^{kn} + \frac{q_v}{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж}} \right] \cdot e^{\frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж} x}{\lambda_s}} = \frac{\lambda_s}{\lambda_s} T'_-(0) e^{\frac{C_{рж} \rho_{ж} W_{ж} x}{\lambda_s}} \geq 0. \quad (22)$$

Заключение

Полученное выражение (12) позволяет аналитически определить температуру масла T_1 на входе в ФЭ при известных теплофизических характеристиках жидкости и пористой пластины ($C_{рж}$, λ_s , $\rho_{ж}$, $W_{ж}$), начальной температуре жидкости T_0 , толщине пластины δ и мощности источника теплоты q_v .

Результаты работы могут использоваться для моделирования процесса при различных условиях протекания и определения оптимальных конструктивных параметров ФЭ и мощности, затрачиваемой на электронагрев масла при прохождении его через ФЭ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Квайт, С. М. Пусковые качества и системы пуска автотракторных двигателей / С. М. Квайт, Я. А. Менделевич, Ю. П. Чижков. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
- 2 Семенов, Н. В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур / Н. В. Семенов. – М.: Транспорт, 1993. – 190 с.
- 3 Кочергин, С. В. Саморегулируемый электроподогрев моторного масла в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Кочергин, В. В. Остриков // Двигательное строительство, 2004. – № 4. – С. 33–36, 52, 53.
- 4 Манохин, В. Пуск двигателей зимой / В. Манохин, В. Горлатов // Сельский механизатор, 2002. – № 2. – С. 13–14.
- 5 Заявка 19736039 Германия, МПК⁶ F 01 M 11/03. Olmodul fur Brennkraftmaschinen / Winter Josef, Grumann Bernd; MAN Nutzfahrzeuge AG. – № 19736039.4; заявл. 20.8.1997; опубл. 25.2.1999. – 5 с.
- 6 Пат. 6746600 США, МПК⁷ B 01 D 35/18. Fluid filter with integrated cooler / Nguyen Ledu Q.; Arvin Technologies Inc. – № 10/241201; заявл. 11.09.2002; опубл. 08.06.2004; НПК 210/168. – 3 с.
- 7 Сафонов, В. В. Применение наноматериалов при эксплуатации сельскохозяйственных машин / В. В. Сафонов, С. В. Сафонова, А. В. Кирилин, В. А. Александров // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2003. – № 4. – С. 8–10.
- 8 Шувалов, А. Снижение износа машин / А. Шувалов, С. Кочергин, А. Козлов // Сельский механизатор, 2004. – № 11. – С. 12–13.
- 9 Костенич, В. Г. Анализ способов очистки масла в двигателях внутреннего сгорания / В. Г. Костенич // Механизация мелиоративных работ: Сб. научн. тр. / Белорус. с.-х. акад.; Ред. кол.: А. Н. Карташевич (отв. ред.) и др. – Горки, 1997. – С. 18–23.
- 10 Григорьев, М. А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М. А. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1983. – 148 с.
- 11 Пат. ВУ 4693 С1, МПК⁷ B 01D 35/14. Регенерируемый фильтр для очистки масла двигателя внутреннего сгорания / А. Н. Карташевич, В. Г. Костенич, Е. И. Мажугин. – № 970502; заявл. 25.09.97; опубл. 30.09.02. – Бюл. НЦИС РБ № 3. – 4 с.
- 12 Васильев, Л. Л. Теплофизические свойства пористых материалов / Л. Л. Васильев, С. А. Танаева. – Мн.: Наука и техника, 1971. – 268 с.
- 13 Васильев, Л. Л. Теплофизические свойства плохих проводников тепла / Л. Л. Васильев, Ю. Е. Фрайман. – Мн.: Наука и техника, 1967. – 176 с.
- 14 Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, В. С. Сукомел. – М.: Энергоиздат. – 1981. – 417 с.
- 15 Лыков, А. В. Тепломассообмен: Справочник / А. В. Лыков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
- 16 Сергеев, Г. Т. Расчет температуры пористой стенки при фильтрации жидкости (газа) / Г. Т. Сергеев // Тепло-и массообмен в капиллярнопористых телах. Под ред. А. В. Лыкова и Б. М. Смольского. – Мн.: Наука и техника, 1965. – 155 с.
- 17 Арнольд, В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения / В. И. Арнольд. – М.: Наука, 1971. – 240 с.
- 18 Шорин, С. Н. Теплопередача / С. Н. Шорин. – М.: Высшая школа, 1964. – 490 с.

«Агропанорама» – научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал «Агропанорама» включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология, энергетика). Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков – 74884, предприятий и организаций – 748842. Стоимость подписки на первое полугодие 2007 года: для индивидуальных подписчиков – 12690 руб., ведомственная подписка – 25380 руб.