



УДК 536.24
ГРНТИ 55.39.43

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДОГРЕВА МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПОТОКОМ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ПАТРУБОК КОНЕЧНОГО РАДИУСА

А.И. ОВЧИННИКОВ

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

А.Г. БЕЛЫХ, кандидат технических наук

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Ю.Е. ГРЯДУНОВА, кандидат технических наук

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Д.П. ПОСАНЧУКОВ

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В статье проведен анализ теплового состояния масла в период разогрева в картере двигателя внутреннего сгорания и агрегатов трансмиссии. Рассмотрены факторы, влияющие на пуск двигателей в условиях низких температур. Получена математическая модель для расчета процесса подогрева масла в двигателе внутреннего сгорания потоком воздуха через патрубок конечного радиуса.

Ключевые слова: анализ; температура; процесс подогрева автомобильного масла; математическая модель.

MATHEMATICAL MODELING OF THE OIL HEATING PROCESS IN THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY AIR FLOW THROUGH THE STRAIGHT RADIUS TUBE

A.I. OVCHINNIKOV

MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)

A.G. BELYKH, Candidate of Technical Sciences

MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)

YU.E. GRYADUNOVA, Candidate of Technical Sciences

MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)

D.P. POSANCHUKOV

MESC AF "N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy" (Voronezh)

In the article the analysis of the thermal state of the oil in the warm-up period in the crankcase of the internal combustion engine and transmission assemblies. the factors affecting the start of engines at low temperatures are considered. the mathematical model for calculation of process of heating of oil in the internal combustion engine by air flow through a branch pipe of a final radius is received.

Keywords: analysis; temperature; automobile oil heating process; mathematical model.

Введение. В настоящее время активно осваиваются районы крайнего севера, планируется интенсивное расширение аэродромной сети, что влечет за собой повышение требований к условиям эксплуатации машин и механизмов.

В зимнее время года среднее значение температуры окружающего воздуха в районах Якутии, Магадана, Заполярья и Арктики составляет в пределах 253 ... 243 К (минус 20 ... минус 30 °С).



Эти районы помимо низкой температуры характеризуются следующими условиями:

- продолжительным зимним периодом от 150 до 300 дней;
- сильными ветрами со скоростью от 20 до 30 м/с;
- большой глубиной снежного покрова от 30 до 50 см;
- большим количеством дней с сокращенным световым временем суток от середины ноября до 1 марта [1].

Наличие снежного покрова, метели создают тяжёлые дорожные условия, затрудняют движение машин.

Основными проблемами при эксплуатации средств наземного обслуживания общего применения (СНО ОП) являются: недостаточное качество смесеобразования карбюраторных и дизельных ДВС, слабый заряд аккумуляторных батарей, малый крутящий момент стартера для запуска двигателей, увеличение вязкости автомобильных и трансмиссионных масел, низкая износоустойчивость узлов и агрегатов двигателя и трансмиссии автомобилей.

Сильные продолжительные холодные ветра ускоряют охлаждение узлов и агрегатов машин, затрудняют поддержание их теплового состояния. В связи с низкими температурами воздуха и сокращением светлого времени суток ухудшаются условия труда водителей и личного состава, занятого работами по техническому обслуживанию СНО ОП.

Актуальность. Определяющим фактором теплового состояния агрегатов является температура окружающей среды, оказывающая непосредственное влияние на физико-химические свойства применяемых в них горюче-смазочных материалов [2].

Особенности эксплуатации СНО ОП в условиях низких температур включают в себя следующие мероприятия:

- проведение сезонного обслуживания в более ранние сроки;
- создание на складах и в подразделениях запасов расходных материалов, зимних сортов масел, низкозамерзающей жидкости;
- подготовка в подразделениях средств буксировки, средств повышения проходимости;
- оборудование автомобилей дополнительными средствами обогрева и утепления;
- подготовки мест стоянки техники: подготовка отапливаемых боксов, средств прогрева двигателей;
- подготовка водомаслогрейки, зарядно-аккумуляторной станции, пунктов, помещений, площадок, а также подвижных средств технического обслуживания и ремонта.

Особые условия эксплуатации СНО ОП при низких температурах влияют на состояние их технической готовности (рисунок 1).

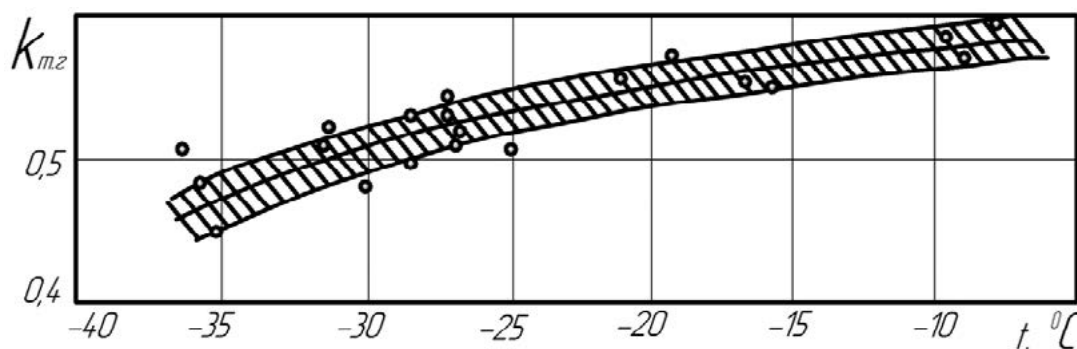


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента технической готовности автомобильной техники от температуры окружающего воздуха

Зависимость коэффициента технической готовности показывает, что при температуре окружающего менее минус 5 °С $K_{т.г.}$ принимает значение менее 1, а при температурах менее минус 15 °С коэффициент снижается до неудовлетворительных значений.



Особые условия Арктики создают трудности в подготовке СНО ОП к применению, увеличивают сроки подачи техники к обслуживанию воздушных судов, задержки вылета [2].

Таким образом, СНО ОП воинских частей, располагающихся в районе Арктики, требуют дополнительных мероприятий и средств по подготовке техники к применению. Определяющим фактором, оказывающим негативное влияние на подготовку СНО ОП к использованию является температура окружающего воздуха, оказывающая непосредственное влияние на физико-химические свойства применяемых масел. Климатические условия Арктики негативно влияют на время предпусковой подготовки СНО ОП, что приводит к несвоевременной подаче техники к обслуживанию воздушных судов и задержке вылета [3].

Из проведенного анализа факторов, оказывающих влияние на своевременную подготовку СНО ОП к применению в климатических условиях Арктики, существующих способов и устройств подогрева двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и агрегатов трансмиссии автомобильной техники, следует вывод о необходимости разработки способов и устройств подогрева, отвечающих требованиям подготовки автомобильной техники к применению в данных условиях.

Цель работы – построение математической модели для расчета процесса подогрева двигателя любого типа при различных температурных условиях окружающей среды.

Для достижения заданной цели необходимо провести анализ теплового состояния масла в период разогрева в картере ДВС и агрегатов трансмиссии. Наибольшую потребность в тепловой энергии перед пуском испытывает картер масла ДВС, так как он имеет больший объем масла, нежели элементы трансмиссии. Следовательно, анализ теплового состояния масла в период разогрева стоит проводить в ДВС [3].

Представим область картера ДВС, заполненного маслом, в виде правильного параллелепипеда с геометрическими размерами $h_1 \times h_2 \times h_3$.

Введем прямоугольную систему координат, как показано на рисунке 2.

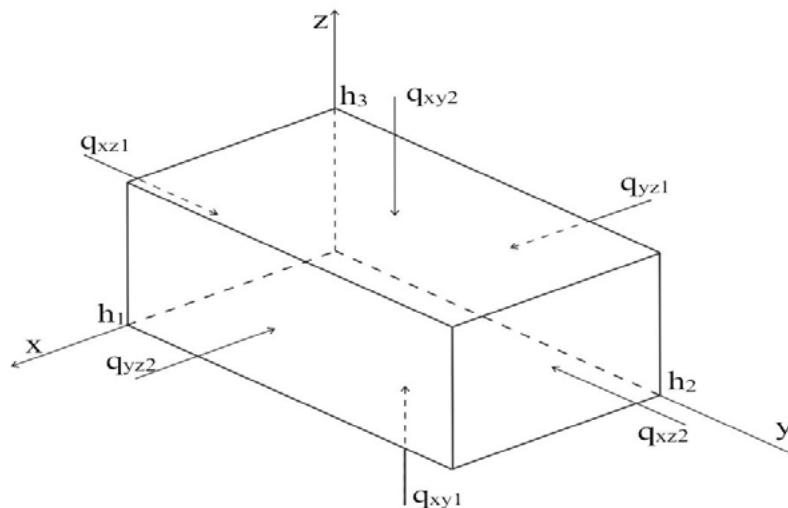


Рисунок 2 – Область картера масла ДВС в прямоугольной системе координат

Так как наибольшую площадь картер имеет в нижней его части, то подогрев необходимо осуществлять снизу теплосодержащим потоком воздуха через патрубок конечного радиуса. Учитывая достаточную скорость теплоносителя и относительно близкую локализацию выходного сечения подогревающего патрубка к днищу ДВС, принимаем, что плотность теплового потока $q_{xy1} = q_0 = \text{const}$. Тепловой поток через свободную поверхность масла в картере $q_{xy2} = 0$, так как паровое пространство над маслом в картере является хорошим изолятором, величины тепловых потоков через боковые поверхности рассматриваемой области $q_{yz1} \approx q_{yz2}$ и $q_{xz1} \approx q_{xz2}$ и их абсолютные значения малы по сравнению с q_0 . Получим $q_{yz1} = q_{yz2} = q_y$; $q_{xz1} = q_{xz2} = q_x$ и сфор-



мируем математическую модель изменения температуры масла в картере. Считаем, что теплота распространяется по законам теплопроводности. При этом свободно конвективный перенос не существенный в виду высокой вязкости моторного масла; для масла М - 8Г2 при температуре 273 К (0 °С) равна 1200 сСт. В выбранной декартовой системе координат (рисунок 2) начальнo-краевая задача для уравнения теплопроводности представлена в виде [4, 5]:

$$\rho c_p \frac{\partial t(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \lambda \left[\frac{\partial^2 t(x, y, z, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x, y, z, \tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t(x, y, z, \tau)}{\partial z^2} \right]; \quad (1)$$

$$t(x, y, z, 0) = t_0; \quad (2)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(0, y, z, \tau)}{\partial x} = q_y; \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(h_1, y, z, \tau)}{\partial x} = -q_y; \quad (4)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(x, 0, z, \tau)}{\partial y} = q_x; \quad (5)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(x, h_2, z, \tau)}{\partial y} = -q_x; \quad (6)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(x, y, 0, \tau)}{\partial z} = q_0; \quad (7)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(x, y, h_3, \tau)}{\partial z} = -q_0; \quad (8)$$

где: λ – теплопроводность моторного масла, Вт/(м·К);

ρ – плотность моторного масла, кг/м³;

c_p – массовая теплоемкость моторного масла, Дж/(кг·К);

t_0 – начальная температура моторного масла в картере ДВС, К;

τ, x, y, z – время и декартовыe координаты (принимает, что теплофизические характеристики моторного масла однородны по пространству и времени).

В безразмерном виде система (1-8) примет следующий вид:

$$\frac{\partial T(X, Y, Z, F_0)}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 T(X, Y, Z, F_0)}{\partial X^2} + \xi^2 \frac{\partial^2 T(X, Y, Z, F_0)}{\partial Y^2} + \eta^2 \frac{\partial^2 T(X, Y, Z, F_0)}{\partial Z^2}; \quad (9)$$

$$T(X, Y, Z, 0) = 0; \quad (10)$$

$$\frac{\partial T(0, Y, Z, F_0)}{\partial X} = -Q_Y^{-1}; \quad (11)$$

$$\frac{\partial T(1, Y, Z, F_0)}{\partial X} = Q_Y^{-1}; \quad (12)$$



$$\frac{\partial T(X, 0, Z, F_0)}{\partial Y} = -(\xi Q_x)^{-1}; \quad (13)$$

$$\frac{\partial T(X, 1, Z, F_0)}{\partial Y} = (\xi Q_x)^{-1}; \quad (14)$$

$$\frac{\partial T(X, Y, 0, F_0)}{\partial Z} = -\eta^{-1}; \quad (15)$$

$$\frac{\partial T(X, Y, 1, F_0)}{\partial Z} = 0, \quad (16)$$

где: $X = x/h_1; Y = y/h_2; Z = z/h_3; T(X, Y, Z, F_0) = [t(x, y, z, \tau) - t_0] \lambda / (q_0 h_1)$ – число Фурье;

$Q_x = q_0 / q_x$; – теплопроводность моторного масла;

$$X = x/h_1; Y = y/h_2; Z = z/h_3; T(X, Y, Z, F_0) = [t(x, y, z, \tau) - t_0] \lambda / (q_0 h_1); \xi = h_1/h_2; \eta = h_1/h_3;$$

$$Q_y = q_0 / q_y; Q_x = q_0 / q_x.$$

Осредним систему (9) – (16) по X , то есть:

$$\bar{T}_x(Y, Z, F_0) = \int_0^1 T(X, Y, Z, F_0) dX, \quad (17)$$

тогда получим

$$\frac{\partial \bar{T}_x(Y, Z, F_0)}{\partial F_0} = 2Q_y^{-1} + \xi \frac{\partial^2 \bar{T}_x(Y, Z, F_0)}{\partial Y^2} + \eta^2 \frac{\partial^2 \bar{T}_x(Y, Z, F_0)}{\partial Z^2}; \quad (18)$$

$$\bar{T}_x(Y, Z, 0) = 0; \quad (19)$$

$$\frac{\partial \bar{T}_x(0, Z, F_0)}{\partial Y} = -(\xi Q_x)^{-1}; \quad (20)$$

$$\frac{\partial \bar{T}_x(1, Z, F_0)}{\partial Y} = (\xi Q_x)^{-1}; \quad (21)$$

$$\frac{\partial \bar{T}_y(0, F_0)}{\partial Z} = -\eta^{-1}; \quad (22)$$



$$\frac{\partial \bar{T}_x(Y, 1, F_0)}{\partial Z} = 0. \quad (23)$$

Далее осредним систему (18) – (23) по Y , то есть:

$$\bar{T}_Y(Z, F_0) = \int_0^1 T(Y, Z, F_0) dY, \quad (24)$$

в итоге:

$$\frac{\partial \bar{T}_Y(Z, F_0)}{\partial F_0} = 2Q_Y^{-1} + 2\xi Q_X + \eta^2 \frac{\partial^2 \bar{T}_Y(Z, F_0)}{\partial Z^2}; \quad (25)$$

$$\bar{T}_Y(Z, 0) = 0; \quad (26)$$

$$\frac{\partial \bar{T}_Y(0, F_0)}{\partial Z} = -\eta^{-1}; \quad (27)$$

$$\frac{\partial \bar{T}_Y(1, F_0)}{\partial Z} = 0. \quad (28)$$

И осреднив (25) – (28) по Z , то есть:

$$\bar{T}(F_0) = \int_0^1 \bar{T}_Y(Y, Z, F_0) dY, \quad (29)$$

тогда получим:

$$\frac{\partial \bar{T}(F_0)}{\partial F_0} = 2(Q_Y^{-1} + \xi Q_X^{-1}) + \eta; \quad (30)$$

$$\bar{T}(0) = 0. \quad (31)$$

Из (30) – (31) следует:

$$\bar{T}(F_0) = [2(Q_Y^{-1} + \xi Q_X^{-1}) + \eta] F_0; \quad (32)$$

Возвращаясь к размерным переменным, получим:

$$\bar{t}(\tau) = t_0 + \left[2 \left(\frac{q_y}{h_1} + \frac{q_x}{h_2} \right) + \frac{q_0}{h_3} \right] \frac{\tau}{\rho c_p}. \quad (33)$$



Построенная математическая модель процесса подогрева масла в картере ДВС теплосодержащим потоком воздуха через патрубок конечного радиуса позволила определить уравнение энергии.

Данное уравнение характеризуется линейной зависимостью температуры масла в картере ДВС в процессе подогрева от внешних воздействий температуры окружающего воздуха и времени подогрева.

За счет того, что в уравнении учтены ряд параметров, таких, как начальная температура масла в картере, геометрические размеры картера, значения плотности и теплоемкости применяемого масла и значение теплового потока, представляется возможным расчет процесса подогрева любого типа двигателя при различных температурных условиях окружающей среды.

Выводы. Таким образом, получено уравнение процесса подогрева масла в картере ДВС теплосодержащим потоком воздуха, применение которого целесообразно при разработке устройств для подготовки автомобильной техники перед выездом в условиях низких температур для обеспечения своевременного выхода техники из парка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лосавио Г.С. Эксплуатация автомобилей при низких температурах. М.: Транспорт, 1973. 117 с.
2. Куличенко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. К.: Техника, 1990. 165 с.
3. Покровский А.И., Букин А.А., Гаврилов Д.Ф. Эксплуатация автомобилей с карбюраторными двигателями в условиях низких температур. М.: Автотрансиздат, 1961. 173 с.
4. Кошляров Н.С. Уравнения в частных производных математической физики. Учебное пособие для мех. мат. факультетов. М.: «Высшая школа», 1970. 712 с.
5. Кузнецов Г.В., Шерemet М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. 172 с.

REFERENCES

1. Losavio G.S. ENkspluatatsiya avtomobilej pri nizkikh temperaturakh. M.: Transport, 1973. 117 p.
2. Kulichenko V.R. Spravochnik po teploobmennym raschetam. K.: Tekhnika, 1990. 165 p.
3. Pokrovskij A.I., Bukin A.A., Gavrilo D.F. ENkspluatatsiya avtomobilej s karbyuratornymi dvgigatelyami v usloviyakh nizkikh temperatur. M.: Avtotransizdat, 1961. 173 p.
4. Koshlyarov N.S. Uravneniya v chastnykh proizvodnykh matematicheskoy fiziki. Uchebnoe posobie dlya mekh. mat. fakul'tetov. M.: «Vysshaya shkola», 1970. 712 p.
5. Kuznetsov G.V., SHeremet M.A. Raznostnye metody resheniya zadach teploprovodnosti: uchebnoe posobie. Tomsk: Izd-vo TPU, 2007. 172 p.

© Овчинников А.И., Белых А.Г., Грядунова Ю.Е., Посанчуков Д.П., 2018

Овчинников Алексей Иванович, младший научный сотрудник 24 отдела 2 управления научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, miliman@inbox.ru

Белых Антон Геннадьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник 24 отдела 2 управления научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, sunstroke-777@mail.ru



Грядунова Юлия Евгеньевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник 24 отдела 2 управления научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, prostoyulianna@mail.ru

Посанчуков Дмитрий Павлович, научный сотрудник 24 отдела 2 управления научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, diman-36@mail.ru