

О ТЕМПЕРАТУРНОМ СОСТОЯНИИ ДВИГАТЕЛЯ, ПРОГРЕВАЕМОГО В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР ХОЛОДНОГО КЛИМАТА

THE TEMPERATURE STATE OF THE ENGINE WARMED UP IN FREEZING CONDITIONS IN COLD CLIMATES

А.В. КОЛУНИН, к.т.н.
И.А. БУРЬЯН
О.В. НОВИКОВ

Филиал Федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации в городе Омске (ОАБИИ), Омск, Россия

A.V. KOLUNIN, PhD in Engineering
I.A. BUR'YAN
O.V. NOVIKOV

Branch of Federal State-Owned «Khrulev Military Educational Institution of Logistics» of the Ministry of Defense of the Russian Federation in Omsk (OABII), Omsk, Russia, kolunin2003@mail.ru

Значительная часть территории России находится в зоне холодного климата. Отрицательные температуры окружающего воздуха оказывают влияние на надежность работы агрегатов сельскохозяйственной техники. Не является исключением и двигатель. Диапазон температурного состояния двигателей, эксплуатируемых в условиях отрицательных температур холодного климата, шире относительно условий средней полосы. Перепады температур двигателя сопровождаются значительными напряжениями в конструкционных материалах, особенно в условиях прогрева. Наиболее часто низкотемпературный режим работы имеет место при прогреве после длительной стоянки покоящегося двигателя. Температурное состояние двигателя в значительной степени определяет ряд факторов в рамках его рабочего процесса. Полнота сгорания топлива, расход картерных газов, вязкость эксплуатационных материалов, условия трения поверхностей сопряженных деталей, наличие конденсационных процессов в картерном пространстве в значительной степени определяют надежность работы.

Представляет научный интерес активность изменения температур в условиях прогрева. В настоящей статье описывается эксперимент, заключающийся в наблюдении за изменением температур жидкостей двух систем. В эксперименте в качестве критерия для определения температурного состояния выбраны температура охлаждающей жидкости системы охлаждения и температура масла смазочной системы.

Ключевые слова: расход картерных газов, температурное состояние, подвергшиеся термической деструкции и частично окисленные топливные фракции, температура точки росы картерных газов.

A significant part of the territory of Russia is located in the cold climate zone. Negative ambient temperatures are inextricably linked to the temperature of the engine. The temperature range of the engines operated in the conditions of low temperatures of the cold climate is wider relative to the conditions of the middle band. The temperature drop of the engine is accompanied by significant stresses in the structural materials, especially in warm-up conditions. The most common low-temperature mode of operation takes place during heating after a long parking of vehicle without engine start. The temperature condition of the engine largely determines a number of factors within its working process. The completeness of fuel combustion, the consumption of crankcase gases, the viscosity of the operating materials, the conditions of thorns on the surfaces of the parts friction, the presence of condensation processes in the crankcase largely determine the reliability of operation. The activity of temperature changes in warm-up conditions is also considered. This paper describes an experiment consisting in the observation of the change in temperature of the liquids of the two systems. In the experiment, the coolant temperature of the cooling system and the oil temperature of the lubricating system as a criterion for determining the temperature state were chosen.

Keywords: crankcase gas consumption, temperature state, thermally degraded and partially oxi-dized fuel fractions, crankcase gas dew point temperature.

Введение

Температурное состояние двигателя можно охарактеризовать с помощью температурного поля, под которым понимается совокупность мгновенных значений температур во всех точках изучаемого пространства или системы. Изменение температуры двигателя во всех точках происходит неодинаково.

Эксплуатация сельскохозяйственной техники в северной полосе России обусловлена специфическими особенностями проблемного характера. Низкие температуры окружающего воздуха, большая продолжительность зимнего периода, значительные перепады температур порождают такие проблемы, как затрудненный пуск двигателя, слабая прокачиваемость моторного масла по масляным магистралям, продолжительное время прогрева, активный теплообмен с окружающей средой, повышенный расход картерных газов, повышенный расход эксплуатационных материалов.

Как известно, топлива, применяемые для работы поршневых двигателей, имеют углеводородный состав. В условиях низкотемпературного режима снижается полнота сгорания топлива. Подвергшиеся термической деструкции и частично окисленные топливные фракции повышают токсичность и канцерогенность выхлопных газов [1]. При окислении водорода происходит образование паров воды в камере сгорания. Прорыв газов в холодную среду картерного пространства сопровождается конденсационными процессами, накоплением продуктов неполного сгорания топлива и воды в масле. Накопление воды в условиях прогрева продолжается до достижения температуры точки росы картерных газов (плюс 44 °С) [2]. Вода, в свою очередь, инициирует усиление взаимодействий продуктов с низкой агрегатной устойчивостью. Итогом многократной и (или) продолжительной работы двигателя на низкотемпературном режиме является образование в смазочной системе отложений, имеющих название «низкотемпературные» [3].

Температурное состояние двигателя способно оказывать влияние не только на состав газов, но и на активность движения картерных газов. Чем ниже общетемпературное состояние двигателя, тем больше зазоры в сопряжениях деталей цилиндропоршневой группы. Работа двигателей на низкотемпературном режиме является частым явлением, особенно

для холодных природно-климатических условий. В инструкциях по эксплуатации сельскохозяйственной техники излагаются рекомендации по прогреву двигателей, эксплуатируемых в таких условиях.

Максимальная концентрация высоких температур находится в камере сгорания, которая конструктивно приближена к головке цилиндра. Охлаждающая жидкость системы охлаждения является теплоносителем, нагревается и разносит тепло в периферийные области, рассеивает в атмосферу через радиатор [4].

Однако следует учитывать и другие обстоятельства прогрева. Изменение температурного состояния происходит не только по причине сгорания топлива, но и в результате сил трения между поверхностями сопряженных деталей и слоями жидкостей систем двигателя. Кроме охлаждающей жидкости роль теплоносителя выполняет моторное масло. Моторное масло находится в движении и имеет неодинаковую температуру в разных областях смазочной системы. В то же время движение по каналам и перемешивание способствуют выравниванию температур. Активному перемешиванию способствуют импульсные движения газовых слоев, возвратно-поступательные движения поршней подобно режимам всасывания и нагнетания поршневых компрессоров, а также вращение коленчатого вала и сложные плоскопараллельные движения шатунов. Форма картера достаточно сложная, движение газов и масла по картерному пространству трудно описать какими-либо законами.

Изучение температурного состояния во всех точках двигателя в период прогрева является не простой задачей; при этом рационально ввести следующее допущение: температурное состояние определять по температурам жидкостей двух систем.

Цель исследований

Анализ активности изменения температур охлаждающей жидкости системы охлаждения и масла смазочной системы, выявление преобладающей динамики и определение максимальной разницы температур в период прогрева двигателя.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач провели эксперимент. Поскольку эксперимент проводился на реальных двигателях в естественных

условиях, то в соответствии с классификацией экспериментов, его можно отнести к разряду натурных.

Исследования осуществлялись на предварительно подготовленных автомобилях КАМАЗ-5350. Такие автомобили находят широкое применение для перевозки сельскохозяйственной продукции в отдаленных районах Крайнего севера. Автомобили оснащены двигателями КАМАЗ-740.30-260.

Для сравнимости результатов и идентичности условий эксперимента в подконтрольную группу машин вошли пять автомобилей из числа находящиеся на гарантии производителя. Пробег автомобилей находился в диапазоне от 13569 до 16639 км.

С целью реализации поставленных задач была разработана программа натурных исследований. Суть эксперимента заключалась в пуске холодных двигателей без применения средств подогрева/разогрева и прогреве на холостых оборотах до температуры охлаждающей жидкости плюс 70 °С, регистрации температур охлаждающей жидкости и масла через заданные промежутки времени. Применение дополнительного оборудования обеспечивало надежность пуска. Параметры проводимого эксперимента делились на фиксированные и варьированные. К фиксированным параметрам относились частота вращения коленчатого вала и нагрузка, к варьированным – температура охлаждающей жидкости системы охлаждения (°С) и температура масла смазочной системы (°С).

Для регистрации температур охлаждающей жидкости на жидкостные коллекторы устанавливались датчики температур наклад-

ного типа, как показано на рис. 1. Датчики температур устанавливались также в поддон картера на место сливной пробки, как показано на рис. 2.

Все установленные датчики имели связь с многоканальным измерителем температуры МИТ-12. Через каждые 5 секунд измеритель температуры по очереди «опрашивал» датчики температур, а полученные значения заносились в память ЭВМ.

Результаты и обсуждение

Эксперимент проводился в городе Омске Российской Федерации. Показатели, характеризующие условия эксплуатации автомобилей, приведены в табл.

Таблица

Условия проведения эксперимента

Климатический показатель, размерность	Значение
Температура воздуха, °С	минус 32
Атмосферное давление, мм рт. ст.	774
Влажность воздуха, %	98
Скорость ветра, м/с	1

Настоящей программой предусматривалось:

- организация наблюдения за тепловым состоянием двигателя в процессе прогрева без использования предпускового подогревателя;
- определение активности изменения температуры охлаждающей жидкости и температуры масла смазочной системы;
- построение графических зависимостей, выявление преобладающей динамики, определение максимальной разницы температур, констатация и анализ полученных результатов.



Рис. 1. Датчик температуры охлаждающей жидкости накладного типа, установленный на жидкостной коллектор

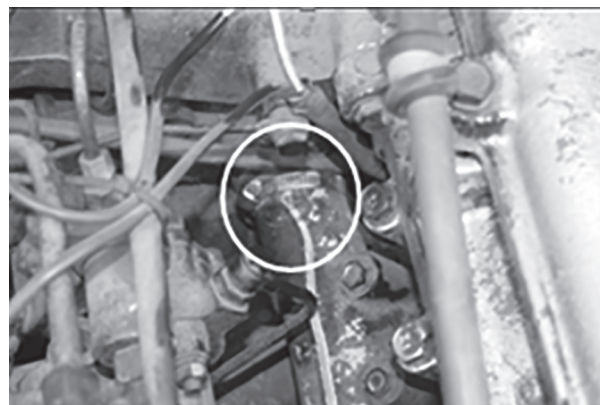


Рис. 2. Датчик температуры масла, установленный на место сливной пробки

Описанная система контроля расхода температур приводилась в действие непосредственно перед пуском двигателей и выполняла требуемые функции до достижения температуры охлаждающей жидкости плюс 70 °С. Частота вращения коленчатых валов двигателей составляла 1400 мин⁻¹ и оставалась неизменной на весь период эксперимента.

По значениям температур, зарегистрированным считывающим устройством, были определены среднесрифметические значения по пяти подконтрольным автомобилям. По среднесрифметическим значениям в декартовой системе координат построены графические зависимости изменения температуры охлаждающей жидкости и температуры масла от времени прогрева двигателя (представлены на рис. 3).

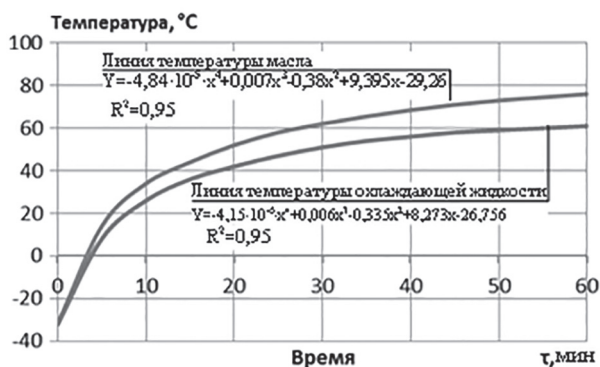


Рис. 3. Зависимости изменения температур масла и охлаждающей жидкости при прогреве двигателя

Кривые зависимости аппроксимированы в программе Origin. Полином пятой степени представляет сумму знакопеременных констант с различными показателями степени, умноженных на переменные значения и описывается следующими уравнениями регрессии:

– для температуры масла:

$$y = -4,84 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 + 0,007x^3 - 0,38x^2 + 9,395x - 29,26; \quad (1)$$

коэффициент детерминации при этом составил $R^2 = 0,95$;

– для температуры охлаждающей жидкости:

$$y = -4,15 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 + 0,006x^3 - 0,335x^2 + 8,273x - 26,756; \quad (2)$$

коэффициент детерминации при этом составил $R^2 = 0,95$.

Выводы

Процесс нарастания температур жидкостей двух систем можно разделить на 3 части.

1. Период максимальной активности. Наиболее активно нарастание температур жидкостей двух систем наблюдается на начальном этапе прогрева, в диапазоне от минус 32 ° до плюс 5 °С, что соответствует продолжительности времени 4 минуты, когда средняя активность составляет 9,25 °С в минуту.

2. Период средней активности. Находится в диапазоне от плюс 5 до плюс 55 °С по температуре масла и плюс 45 °С по температуре охлаждающей жидкости. Средняя активность нарастания температуры составляет 2,6 °С в минуту. Продолжительность времени средней активности соответствует 19 минутам и завершается на отметке 25 минут.

3. Период минимальной активности, когда активность нарастания температур значительно снижается и стремится к нулю. Этот период является самым продолжительным по времени. Таким образом, оправдываются предписания инструкции по эксплуатации о необходимости окончательного вывода двигателя на оптимальный температурный режим не на холостых оборотах, а в условиях нагружения.

Изменение температур жидкостей смазочной системы и системы охлаждения при прогреве двигателя происходит неодинаково. Преобладающая динамика изменения температуры масла объясняется воздействием газов, прорвавшихся из камеры сгорания и имеющих высокую температуру, а также высоким коэффициентом трения между слоями масла, имеющего изначально высокую вязкость. Максимальная разница между значениями температур масла и охлаждающей жидкости составляет 18 °С.

Температура точки росы картерных газов составляет плюс 44 °С [2]. Сопоставляя материалы работы [2] и полученную в результате эксперимента зависимость, можно констатировать, что для описанных условий эксплуатации конденсационный процесс в объеме картерного пространства прекратится через 18 минут после пуска двигателя.

Активность изменения температуры масла смазочной системы преобладает над активностью изменения температуры охлаждающей жидкости системы охлаждения в условиях прогрева. Однако в условиях покоящегося дви-

гателя непосредственно после остановки, конвективный поток способствует более активному теплообмену в нижней части двигателя, т.е. картера и масла, менее активному в верхней части, в области головок блока. Это обстоятельство необходимо учитывать при эксплуатации сельскохозяйственной техники в условиях отрицательных температур холодного климата.

Литература

1. Муромцев З.А. Влияние зональных особенностей на эффективность использования сельскохозяйственной техники: дис. ... канд. техн. наук. Специальность 08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством: экономика, организация и управление предприятиями отраслями, комплексами (АПК и сельское хозяйство). Челябинск, Челябинский государственный аграрный университет. 2006. С. 166.
2. Колунин А.В., Гельвер С.А., Белокопытов С.В., Белокопытов А.С. Процесс обводнения моторного масла при прогреве двигателя КамАЗ-740 в условиях отрицательных температур // Вестник СибАДИ. 2015. № 3 (43). С. 11–15.
3. Корнцев С.В., Дудкин В.М., Колунин А.В. Обводнение и коллоидная стабильность моторных масел // Химия и технология топлив и масел. № 4. М.: изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2006. С. 33–34.
4. Гурвич И.Б., Сыркин П.Э. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей. М: Транспорт, 1984. 219 с.

References

1. Muromtsev Z.A. Vliyaniye zonal'nyh osobennostey na effektivnost' ispol'zovaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki: Diss. kand. techn. sciences' [The influence of zonal features on the efficiency of agricultural machinery: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]. Specialty 08.00.05. Economics and management of national economy: Economics, organization and management of enterprises, industries, complexes (agriculture and agriculture). Chelyabinsk, Chelyabinsk state agrarian university. 2006, pp. 166.
2. Kolunin A.V. The process of watering the engine oil during the heating of the engine KAMAZ-740 at low temperatures / A.V. Kolunin, S.A. Gelver, S.V. Belokopytov, A.S. Belokopytov. Vestnik SibADI. 2015. № 3 (43). P. 11–15 (in Russ.).
3. Korneevev S.V. Flooding, and colloidal stability of motor oils / Korneevev S.V., V.M. Dudkin, A.V. Kolunin. Chemistry and technology of fuels and oils. No. 4, Moscow: Izd-vo «Oil and gas» Gubkin Russian state University of oil and gas. I.M. Gubkin Publ., 2006. P. 33–34 (in Russ.).
4. Gurvich I.B. Ekspluatatsionnaya nadezhnost' avtomobil'nyh dvigatelej [Reliability of automotive engines] / Gurvich I.B., Sirkin P.E. Moscow: Transport Publ., 1984. 219 p.