

УДК 621.113

ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

Корчажкин М.Г., Пачурин Г.В., Беляев Д.В.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижегород, e-mail: pachuringv@mail.ru

В настоящее время важным направлением современного производства автомобилей и служб их эксплуатации является улучшение эксплуатационных характеристик и эффективности работы двигателей внутреннего сгорания. Улучшение экономичности эксплуатации теплообменных агрегатов представляет собой важную задачу современной науки и производства. На эффективность работы двигателей и их отдельные показатели существенно влияют условия эксплуатации. Условия эксплуатации двигателей оказывают комплексное влияние на их различные показатели. Установлено, что с повышением температуры жидкости в системе охлаждения возрастает температура основных деталей двигателя и изменяются параметры его рабочего процесса. Анализ способов повышения эффективности системы охлаждения двигателя позволяет предложить для практической реализации при эксплуатации двигателя в условиях жаркого климата следующее: замену воды (антифриза) в системе охлаждения двигателя на дизельное топливо; увеличение частоты вращения вентилятора; повышение интенсивности циркуляции охлаждающей жидкости. Данные материалы могут быть полезными для специалистов, занимающихся эксплуатацией автомобильного транспорта, преподавателей и студентов вузов соответствующего профиля.

Ключевые слова: техническая эксплуатация автомобилей, поршневые двигатели, система охлаждения двигателя внутреннего сгорания, стабильность теплового состояния двигателя, интенсивность циркуляции охлаждающей жидкости

FEATURES SYSTEMS PERFORMANCE AUTOMOTIVE ENGINE COOLING AT HIGH TEMPERATURES

Korchazhkin M.G., Pachurin G.V., Belyaev D.V.

FGBOU VPO «Nizhny Novgorod State Technical University R.E. Alekseev», Nizhny Novgorod,
e-mail: pachuringv@mail.ru

Currently, an important area of modern production cars and their service operation is to improve the performance and efficiency of the internal combustion engine. Improving the efficiency of operation of heat exchange units is an important task of modern science and industry. On the efficiency of the engines and their individual performance significantly it affects operating conditions. Engine operating conditions have a complex effect on their various figures. It is found that with increasing temperature of the liquid in the cooling system increases the temperature of main parts of the engine and its operating parameters change process. Analysis of ways to enhance the efficiency of the engine cooling system allows us to offer to the practical implementation of the operation of the engine in hot climates the following: replacement of water (antifreeze) in the cooling system of the engine on diesel fuel; increase the fan speed; increase the intensity of the circulation of the coolant. These materials may be useful for professionals engaged in the operation of road transport, teachers and students of higher educational institutions corresponding profile.

Keywords: technical maintenance of vehicles, piston engines, the cooling system of internal combustion engine, the thermal stability of the engine condition, the intensity of the coolant

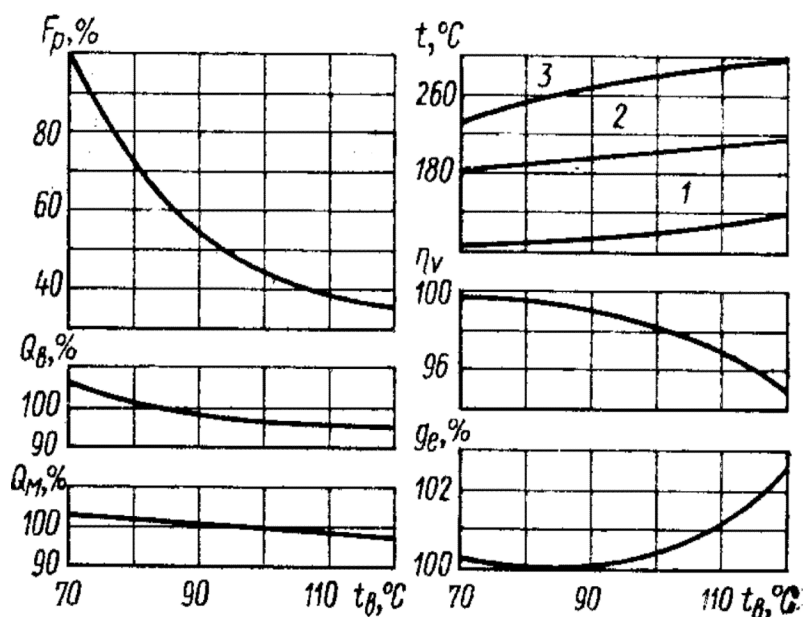
Повышению надежности и безопасности машин и агрегатов в различных условиях эксплуатации посвящены работы многих исследователей [10]. Важным направлением современного производства автомобилей и служб их эксплуатации является улучшение эксплуатационных характеристик и эффективности работы двигателей внутреннего сгорания [2]. Эффективность и надежность функционирования поршневых двигателей во многом определяется работой их отдельных систем и агрегатов. К числу таких важнейших систем двигателя относятся системы охлаждения, топливоподдачи, смазки, воздухоочистки.

Улучшение экономичности эксплуатации теплообменных агрегатов представляет

собой важную задачу современного производства [8], одним из направлений которой является решение вопросов интенсификации теплообмена в системах охлаждения автомобильных двигателей.

Оценка условий эксплуатации на показатели системы охлаждения двигателя

Опыт свидетельствует, что на эффективность работы двигателей и их отдельные показатели существенно влияют условия эксплуатации [1, 3]. Ряд климатических зон характеризуется высокими температурами [4]. При этом условия эксплуатации осложняются значительной запыленностью окружающей атмосферы.



Влияние температуры охлаждающей жидкости на различные параметры и температуру деталей двигателя: 1, 2, 3 – температуры гильзы, поршня и головки цилиндров соответственно; η_v – коэффициент наполнения; $t_ж$ – температура охлаждающей жидкости; F_p – необходимая площадь радиатора; $Q_ж$ и Q_v – количество тепла, переданное соответственно в воду и масло

Пыль является определяющей причиной износа поршневых двигателей, поэтому ее количество в воздухе значительно влияет на их надежность. Например, количество пыли при песчаных бурях в пустыне увеличивается до 5–10 г/м³, т.е. на несколько порядков превышает запыленность воздуха в безветренные дни. Нельзя не отметить высокую проникающую способность мелкой пыли, которая в большинстве случаев проникает через серийные системы воздухо-, масло- и топливоочистки, через уплотнения воздушного, масляного и топливного трактов, нарушая при этом работу соответствующих систем двигателя.

Условия эксплуатации двигателей оказывают комплексное влияние на их различные показатели [5]. Так, наличие подъемов на маршруте движения автомобиля вызывает повышение температуры его агрегатов [6, 7]. Нормальное тепловое состояние двигателя в целом – это состояние стабилизации всех параметров рабочего процесса и температуры деталей в соответствующих пределах. Важнейшим показателем теплового состояния двигателя является температура наиболее нагретых и наиболее ответственных деталей двигателя – поршня, поршневых колец, гильзы цилиндров, головки, клапанов, вкладышей подшипников скольжения и др.

Установлено, что с повышением температуры жидкости в системе охлаждения

возрастает температура основных деталей двигателя и изменяются параметры его рабочего процесса (рисунк). С ростом температуры деталей двигателя закономерно уменьшается коэффициент наполнения η_v , т.к. начинает сказываться влияние подогрева воздуха от деталей двигателя (каналов головки, впускного трубопровода и др.). Соответственно падает эффективная мощность двигателя и увеличивается минимальный эффективный расход топлива $g_{e, \min}$. При повышенных температурах окружающей среды причиной падения мощности двигателя также служит уменьшение плотности воздуха на впуске и, следовательно, снижение массового наполнения цилиндров двигателя [3].

Следует отметить, что температура жидкости в системе охлаждения лишь приблизительно отражает тепловое состояние основных деталей двигателя, т.к. при различных режимах работы двигателя имеется различное несоответствие температур охладителя и стенок цилиндров. Установлено, например, что у двигателя ЗМЗ 406.10 при температуре охлаждающей жидкости + 90 °С рабочая температура верхней зоны гильз цилиндров при полной нагрузке и частоте вращения 1500 мин⁻¹ достигает значений + 160 °С, а при этой же нагрузке и увеличении частоты вращения до 4000 мин⁻¹ она возрастает до + 230 °С [3].

Также установлено, что при нормальном тепловом состоянии разница температур охлаждающей жидкости на входе и выходе из двигателя $\Delta t_{\text{ж}}$ на различных режимах работы составляет 5–10 °С. Температура масла при нормальном тепловом состоянии двигателя изменяется пропорционально температуре жидкости. При этом считается нормой, если температура масла превышает температуру охлаждающей жидкости не более чем на 10 °С.

При повышении температуры охлаждающей жидкости до + 120 °С (высокотемпературные системы), температура деталей ЦПГ возрастает всего лишь на 10–12 °С.

Несмотря на различие типов и моделей автомобильных бензиновых двигателей, предельно допустимые температуры их наиболее нагретых деталей имеют примерно одинаковые значения.

Можно ввести параметр $\bar{t}$ температурной напряженности деталей двигателя исходя из значений максимальной рабочей температуры $t_{\text{max}}^{\text{раб}}$ деталей и из максимально допустимой температуры $t_{\text{max}}^{\text{доп}}$ детали по условиям прочности материала:

$$\bar{t} = \frac{t_{\text{max}}^{\text{доп}}}{t_{\text{max}}^{\text{раб}}}.$$

Для двигателей семейства ЗМЗ значения $t_{\text{max}}^{\text{раб}}$, $t_{\text{max}}^{\text{доп}}$ и $\bar{t}$ приведены в таблице.

Таким образом, параметр $\bar{t}$ определяет величину температурного запаса конкретных деталей. Как следует из данных таблицы, для двигателей ЗМЗ наименьший температурный запас имеют вкладыши подшипников (около 13 %), а наибольший – верхнее поршневое кольцо (около 73 %).

Следует отметить, что с повышением рабочих температур деталей сокращается срок их службы. Например, увеличение температур силуминовых поршней с + 300 до + 350 °С снижает их долговечность в 2–3 раза, а возрастание температуры вкладышей со + 100 до + 160 °С ускоряет появление трещин на их поверхности в 5–7 раз. С приближением температуры охлаждающей жидкости к точке кипения эффективность циркуляционных систем охлаждения снижается из-за падения КПД водяного насоса. При повышенных температурах может

возникнуть также кавитация в насосе и нарушиться циркуляция жидкости.

В экстремальных условиях эксплуатации эффективность работы системы охлаждения может резко снижаться из-за образования накипи в радиаторе и рубашке охлаждения двигателя. Это может происходить при заправке системы охлаждения водой из данного региона, которая может содержать до 20% различных солей [7]. Часто работа двигателя в жарком климате осложняется также высокой запыленностью воздуха. Пыль и песок могут забивать воздухопроводы, ребра радиатора и т.п., ухудшая условия охлаждения двигателя.

Выводы

Анализ способов повышения эффективности системы охлаждения двигателя позволяет предложить для практической реализации при эксплуатации двигателя в условиях жаркого климата следующее:

- замену воды (антифриза) в системе охлаждения двигателя на дизельное топливо;
- увеличение частоты вращения вентилятора;
- повышение интенсивности циркуляции охлаждающей жидкости.

Если первый способ наиболее применим для тяжело нагруженных двигателей коммерческой техники, то второй реализуем на всем спектре автомобилей. Так, на легковых автомобилях возможно изменение схем управления цепями питания электромоторов вентиляторов системы охлаждения, а на грузовых и автобусах – подбором параметров вискомуфта привода вентилятора. Для реализации повышения интенсивности циркуляции охлаждающей жидкости на ряде автомобильных двигателей используются муфты различного типа в приводе насоса охлаждения, также возможно применение привода насоса системы охлаждения с изменяемым передаточным отношением.

Таким образом, стабильность температурного состояния автомобильных двигателей является залогом долговечности их элементов. Для обеспечения стабильности температурного состояния автомобильных двигателей возможно применение как конструктивных, так и эксплуатационных мероприятий.

Температуры различных деталей двигателей ЗМЗ

Значения температур	Деталь (материал)			
	Поршень (алюм. сплав)	Верхнее поршн. кольцо (чугун)	Вкладыш подшипника (сталеалюминий)	Стержень вып. клапана (ЭП-303)
$t_{\text{max}}^{\text{раб}}$, °С	300	260	150	800
$t_{\text{max}}^{\text{доп}}$, °С	350	450	170	950
$\bar{t}$	1,17	1,73	1,13	1,19

Список литературы

1. Борисов Г.В., Лелиовский К.Я., Пачурин Г.В. К вопросу о нормировании расхода жидких топлив на автомобильном транспорте // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 3. – С. 28–35.
2. Горшкова Т.А., Шевченко С.М., Барабашин И.А., Пачурин Г.В., Кузьмин Н.А. Повышение эксплуатационных характеристик двигателя внутреннего сгорания ВАЗ-21124 // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 5–2. – С. 274–278.
3. Корчажкин М.Г. Повышение эксплуатационной надежности двигателей городских автобусов, работающих на режимах высоких тепловых нагрузок: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – 2005. – 185 с.
4. Корчажкин М.Г., Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д. Совершенствование нормативов технической эксплуатации городских автобусов: Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2012. – № 4 (97). – С. 168–174.
5. Кузьмин Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учебное пособие. – М.: Форум, 2011. – 207 с.
6. Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д. Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов: Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 8. – С. 39–42.
7. Кузьмин Н.А., Кустиков А.Д., Ясенов В.В. Особенности работы механических коробок передач городских автобусов при эксплуатации на маршрутах с подъемами: Автотранспортное предприятие. – 2014. – № 4. – С. 37–39.
8. Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н. Вихревая труба в системе консервации и расхолаживания паровых турбин // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 2.
9. Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Кузьмин Н.А. Гидропневматический способ очистки трубок конденсаторов паровых турбин. Забытый эксперимент // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2015. – № 6. – С. 42–47.
10. Пачурин Г.В. Коррозионная долговечность изделий из деформационно-упрочненных металлов и сплавов: Учебное пособие. – 2-е изд., доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 160 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

References

1. Borisov G.V., Leliowski K.Ja., Pachurin G.V. K voprosu o normirovanii rashoda zhidkih topliv na avtomobilnom transporte // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2015. no. 3. pp. 28–35.

2. Gorshkova T.A., Shevchenko S.M., Barabashin I.A., Pachurin G.V., Kuzmin N.A. Povyshenie jekspluatacionnyh harakteristik dvigatelja vnutrennego sgoranija VAZ-21124 // *Fundamentalnye issledovaniya*. 2015. no. 5–2. pp. 274–278.
3. Korchazhkin M.G. Povyshenie jekspluatacionnoj nadezhnosti dvigatelej gorodskih avtobusov, rabotajushih na rezhimah vysokih teplovyh nagruzok: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk. 2005. 185 p.
4. Korchazhkin M.G., Kuzmin N.A., Kustikov A.D. Sovershenstvovanie normativov tehniceskoi jekspluatacii gorodskih avtobusov: Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. 2012. no. 4 (97). pp. 168–174.
5. Kuzmin N.A. Tehniceskaja jekspluatacija avtomobilej: zakonomernosti izmenenija rabotosposobnosti: uchebnoe posobie. M.: Forum, 2011. 207 p.
6. Kuzmin N.A., Kustikov A.D. Problemy nadezhnosti transmissij gorodskih avtobusov: Avtotransportnoe predpriatie. 2013. no. 8. pp. 39–42.
7. Kuzmin N.A., Kustikov A.D., Jasenov V.V. Osobennosti raboty mehanicheskix korobok peredach gorodskih avtobusov pri jekspluatcii na marshrutah s podemami: Avtotransportnoe predpriatie. 2014. no. 4. pp. 37–39.
8. Mindrin V.I., Pachurin G.V., Rebrushkin M.N. Vihrevaja truba v sisteme konservacii i rasholazhivaniya parovyh turbin // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. no. 2.
9. Mindrin V.I., Pachurin G.V., Kuzmin N.A. Hidropnevmaticheskij sposob ochistki trubok kondensatorov parovyh turbin. Zabytyj jeksperiment // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij*. 2015. no. 6. pp. 42–47.
10. Pachurin G.V. Korrozionnaja dolgovechnost izdelij iz deformacionno-uprochnennyh metallov i splavov: Uchebnoe posobie. 2-e izd., dop.SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2014. 160 p.: il.(Uchebniki dlja vuzov. Specialnaja literatura).

Рецензенты:

- Панов А.Ю., д.т.н., профессор, директор ИПТМ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород;
- Кузьмин Н.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильный транспорт», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.