

*Д.В. Мешков, Я.В. Горячий***СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

*В статье рассмотрены основные проблемы, возникающие при использовании традиционной конструкции системы жидкостного охлаждения для современного высокофорсированного двигателя. Выполнен анализ существующих конструкций, определены основные направления развития современных систем охлаждения. Определено, что наибольшей эффективности работы ДВС можно достичь при внедрении в систему охлаждения электронного регулирования, что позволит гибко управлять температурой охлаждающей жидкости в зависимости от режима работы двигателя.*

**Введение**

Основным назначением системы охлаждения является поддержание требуемого температурного режима работы двигателя, быстрое достижение рабочей температуры после запуска и предотвращение перегрева.

Система охлаждения современного автомобиля, помимо перечисленных, должна выполнять ряд дополнительных функций, а именно, охлаждение: масла в системе смазки; отработавших газов в системе рециркуляции; воздуха в системе промежуточного охлаждения наддувочного воздуха; рабочей жидкости в автоматической коробке передач; подогрев воздуха в климатической системе транспортного средства и др. Важным аспектом является также особенность использования ДВС в современных гибридных установках автомобилей и вытекающее отсюда специфическое требование к системе охлаждения – поддержание заданного температурного состояния при движении с выключенным двигателем.

**Формулирование проблемы**

Конструкция системы охлаждения ДВС в последние годы несколько изменилась: увеличилась емкость системы, площадь радиаторов и количество вентиляторов. Увеличившаяся тепловая напряженность системы потребовала от конструкторов тщательного моделирования и учета движения воздушных потоков, как в подкапотном пространстве, так и снаружи транспортного средства. Но при этом устройство системы охлаждения остается довольно традиционным. Следовательно, имеют место характерные для таких систем недостатки:

1. Частота вращения вала водяного насоса связана фиксированным передаточным отношением с частотой вращения коленчатого вала двигателя. А это означает, что скорость циркуляции охлаждающей жидкости является величиной не оптимальной для большинства режимов работы двигателя. Особенно явно данный недостаток проявляется при движении автомобиля с малой скоростью в условиях повышенной температуры окружающей среды. Скорость циркуляции охлаждающей жидкости не-

достаточна. В таком случае, жидкость не успевает отдать теплоту в радиаторе, даже при включенных с максимальной частотой вращения вентиляторах. Возникает опасность перегрева, коробления головки блока цилиндров и блока, выход двигателя из строя.

2. В момент запуска двигателя и его прогрева, система охлаждения должна обеспечить минимальное время достижения рабочей температуры. Двигатель, работающий при температуре охлаждающей жидкости ниже рабочей, потребляет больше топлива и выбрасывает повышенное количество вредных веществ с отработавшими газами. Помимо этого, отработавшие газы имеют недостаточную температуру, чтобы эффективно очищаться в нейтрализаторе или сажевом фильтре. Для снижения влияния данного недостатка, в двигателестроении используются различные мероприятия для сокращения времени прогрева двигателя: двухконтурная система охлаждения, система подачи вторичного воздуха в выпускной коллектор.

3. Эксплуатация транспортного двигателя характерна резкой сменой режима работы. Причем наиболее опасным для двигателя является быстрое снятие нагрузки и выключение двигателя. Такая ситуация возникает, например, при съезде с автомагистрали, торможении и остановке на заправке. В таком случае возникает чрезмерная термическая нагрузка на детали ДВС, что сказывается крайне негативно на его работоспособности, надежности и ресурсе.

Существуют решения для подобных ситуаций [1], когда при остановке двигателя оставляют включенным на некоторое время вентилятор радиатора системы охлаждения. Но эффективность этого метода не высока, так как охлаждающая жидкость не циркулирует по системе.

4. Эксплуатация автомобиля при отрицательных температурах приводит к тому, что охлаждающая жидкость медленно достигает рабочей температуры. В некоторых случаях приходится использовать вспомогательные средства, которые перекрывают доступ воздуха к радиатору. Работа

двигателя в таких условиях также не является эффективной.

Цель исследования: сокращение времени прогрева ДВС со снижением расхода топлива и вредных выбросов, работа двигателя с заданной температурой охлаждающей жидкости, предотвращение перегрева двигателя.

Перечисленные недостатки конструкции традиционной системы охлаждения делают их малоприспособленными для использования на современных высокофорсированных двигателях и гибридных силовых установках.

#### Пути решения проблемы

Решением данной проблемы может стать введение электронного управления в работу системы охлаждения. В настоящий момент предложено несколько вариантов конструктивного исполнения системы охлаждения с электронным управлением [2, 3, 4]. Из рассмотренных вариантов лишь два варианта системы представляются перспективными для использования. Это система предложенная фирмой Volkswagen с электронно-регулируемым термостатом [5] и система с электрическим приводом водяного насоса.

Система с электронно-регулируемым термостатом фирмы Volkswagen позволяет гибко изменять момент начала открытия термостата и его полное открытие. Производитель декларирует, что использование такой системы позволит снизить расход топлива на частичных режимах и содержание CO и СН в отработавших газах.

Конструкция предложенной системы практически не отличается от конструкций традиционного типа, за исключением термостата с электронным управлением. Его отличительной особенностью является применение нагревательного элемента в твердом наполнителе. По команде электронного блока управления на нагревательный элемент подается ток, что приводит к повышению его температуры, которая воздействуя на наполнитель, приводит к изменению его размеров, следовательно, к перемещению штока термостата. Степень нагрева определяется электронным блоком управления, исходя из заложенных в него полей характеристик. Пример таких характеристик представлен на рисунках 1 и 2. Это трехмерные матрицы зависимости температуры охлаждающей жидкости от массы поступающего в двигатель воздуха для двигателя легкового автомобиля (рис. 1) и скорости движения транспортного средства (рис. 2). В результате сравнения по первому и второму графику в качестве номинальной величины температуры охлаждающей жидкости принимается меньшее значение, на

термостат подается соответствующее управляющее воздействие.

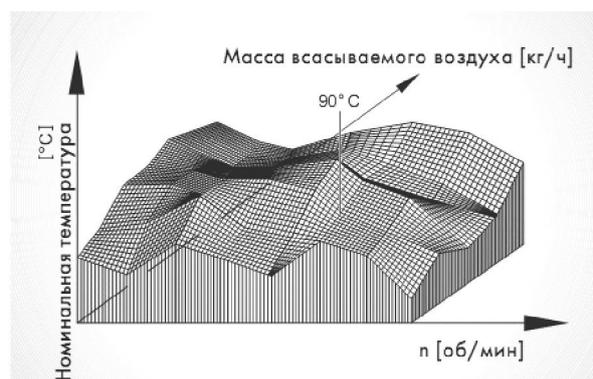


Рис. 1. График номинальной температуры охлаждающей жидкости в зависимости от частоты вращения ( $n$ ) и степени нагрузки двигателя (массы поступающего воздуха в кг/ч)

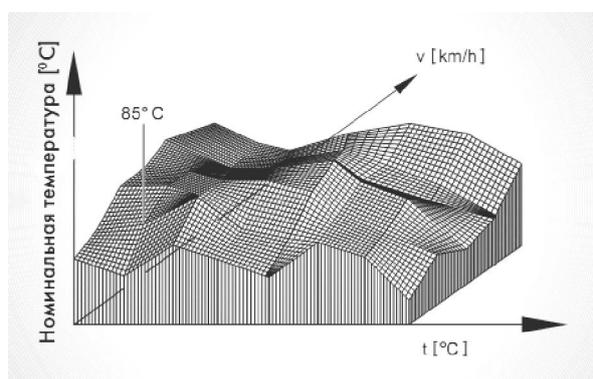


Рис. 2. График номинальной температуры охлаждающей жидкости в зависимости от скорости автомобиля ( $V$ ) и температуры поступающего воздуха ( $t$ )

Установлено, что двигатель легкового автомобиля работает наиболее эффективно при температуре охлаждающей жидкости  $95 \div 110^\circ\text{C}$  в режиме частичных нагрузок и  $85 \div 95^\circ\text{C}$  при полной нагрузке двигателя (рис.3) [5].

Особенностью управления термостатом является то, что он срабатывает только тогда, когда фактическая величина температуры охлаждающей жидкости выходит за пределы поля допуска ее номинальной величины. Включение вентилятора и интенсивность его работы осуществляется также по команде электронного блока управления, в соответствии с заложенными в него полями характеристик (рис.4).

Несмотря на перечисленные достоинства, такая система охлаждения не в состоянии нивелировать главный недостаток традиционной системы охлаждения: неоптимальную скорость движения охлаждающей жидкости в зависимости от режима работы двигателя. Помимо этого, предложенная система имеет разветвленную систему каналов и

сложную конструкцию распределителя охлаждающей жидкости, что отрицательно сказывается на

надежности системы.



Рис. 3. Значение оптимальной температуры двигателя в зависимости от режима его работы

Более прогрессивной конструкцией является система с электрическим водяным насосом или дополнительным электрическим водяным насосом в системе охлаждения [6]. Стимулом к появлению таких систем явилось значительное увеличение удельной мощности и распространение в автомобилестроении гибридных силовых установок, где ДВС работает не постоянно.



Рис. 4. Характеристика скорости вращения вентилятора системы охлаждения в зависимости от температуры и массы поступающего в двигатель воздуха

Основным преимуществом такой системы является независимость скорости циркуляции охлаждающей жидкости от частоты вращения коленчатого вала. Привод водяного насоса осуществляется при помощи электрического двигателя, частота вращения ротора которого, определяется по команде электронного блока управления в соответствии с заложенными в него характеристиками.

Основными элементами рассматриваемой системы являются: электрический водяной насос, электронно-управляемый термостат, радиатор и вентиляторы с электроприводом.

К сожалению, информация относительно алгоритмов и режимов работы такой системы является недоступной. На основе рассмотренных выше недостатков традиционной системы охлаждения, сформулируем основные принципы работы такой системы:

- режим запуска и прогрева. Для обеспечения стабильного запуска и устойчивой работы, топливовоздушная смесь принудительно обогащается. Это приводит к повышенным выбросам вредных веществ и увеличенному расходу топлива. Использование системы охлаждения с электронным управлением производительностью водяного насоса позволяет в момент запуска снизить до минимально возможного уровня скорость циркуляции охлаждающей жидкости, что приведет к ее активному нагреву, сократит время достижения двигателем рабочей температуры. Некоторые источники указывают, что в подобных случаях можно даже отказаться от использования термостата. Но отсутствие термостата приведет к увеличению времени прогрева, так как объем охлаждающей жидкости, который придется прокачать системе, является значительным, и положительные эффекты от использования системы будут сведены к минимуму. Наиболее предпочтительным решением является использование термостата с электронным управлением, который в состоянии гибко изменять моменты начала открытия и полного открытия термостата по команде электронного блока управления.

- режим движения с малой скоростью при высокой температуре окружающей среды. Как было сказано выше, при таких условиях возникает опасность перегрева двигателя, что обусловлено малой скоростью циркуляции охлаждающей жидкости по системе. Жидкость не успевает достичь радиатора и отвести теплоту в радиаторе. Следовательно, принудительно увеличивая скорость циркуляции

охлаждающей жидкости по системе, при включенных на максимальную скорость вращения вентиляторах радиатора, к минимуму сводится опасность возникновения перегрева двигателя и последующий выход его из строя.

- режим резкой остановки двигателя после движения на высокой скорости. Предлагается в момент остановки ДВС продолжать циркуляцию охлаждающей жидкости. Причем скорость циркуляции, частота вращения вентилятора радиатора и время автономной работы определяется электронной системой управления в соответствии с заложенными в него алгоритмами. Данное решение особенно актуально для высокофорсированных двигателей и двигателей, оснащенных турбокомпрессором.

При перечисленных достоинствах системы у нее есть недостаток: электрический водяной насос, надежность которого ниже, чем насоса с механическим приводом. Программа управления системой охлаждения, в таком случае, должна быть дополнена подпрограммой работы системы для случая выхода электрического насоса из строя. При возникновении данной ситуации, ДВС должен быть остановлен, а на информационное табло автомобиля выводится соответствующее сообщение.

Применение предложенной системы является рациональным решением для современного двигателестроения, поэтому вопрос разработки алгоритмов управления электронной системой охлаждения является актуальной задачей для двигателестроения Украины.

Таким образом, проведение исследований в данной области является перспективной задачей, которая предусматривает: создание системы охлаждения с электронным управлением с использованием серийно выпускаемых элементов; создание программы управления системой охлаждения для электронного блока управления; построение характеристик управления электрическим водяным насосом, электронным термостатом и электрическим вентилятором системы; разработка алгоритма работы двигателя в аварийном режиме, при отказе водяного насоса; проведение комплекса сравнительных исследований на моторном стенде с целью

определения эффективности предлагаемых решений.

#### **Заключение**

Исходя из вышесказанного можно заключить, что использование системы охлаждения с электронным управлением является тем резервом, который позволит не только сократить выбросы вредных веществ с отработавшими газами, снизить расход топлива, но и повысить надежность эксплуатации двигателя, его ресурс и удобство управления.

Для получения перечисленных эффектов необходимо проведение комплекса исследовательских работ, направленных на достижение максимальной эффективности работы как системы охлаждения с электронным управлением, так и всей энергетической установки.

#### **Список литературы:**

1. Системы управления двигателем ВАЗ-2112 с распределенным впрыскиванием топлива / Косарев С.В., АСТ, Москва, 2005, 175 с.
2. Fahrzeugkühlung - Kompaktes Wissen für die Werkstatt! Technical Booklet, Behr Hella Service GmbH, Dr.-Manfred-Behr-Straße 1, 74523 Schwäbisch Hall, Germany, 2012, 52 s.
3. Thermomanagement bei Hybridfahrzeugen, Technischer Pressetag, 2009, 20 s.
4. Пат. RU 98120906 А, Россия, МПК F01P7/16. Система охлаждения с электронным управлением автомобильного двигателя / Кузе Йосиказу (Япония) – № 98120906/06; Заявл. 19.11.1998; Опубл. 20.09.2000.
5. Система охлаждения двигателя с электронным регулированием. Устройство и принцип действия / Программа самообучения.
6. Статья Mercedes-Benz A45 AMG // Журнал «Авторевию»: 2013, № 13(145).- 38-40 с.

#### **Bibliography (transliterated):**

1. Sistemyi upravleniya dvigatelem VAZ-2112 s raspredelenym vpryskivaniem topliva / Kosarev S.V., AST, Moskva, 2005, 175 s.
2. Fahrzeugkühlung - Kompaktes Wissen für die Werkstatt! Technical Booklet, Behr Hella Service GmbH, Dr.-Manfred-Behr-Straße 1, 74523 Schwäbisch Hall, Germany, 2012, 52 s.
3. Thermomanagement bei Hybridfahrzeugen, Technischer Pressetag, 2009, 20 s.
4. Pat. RU 98120906 A, Rossiya, MPK F01P7/16. Sistema ohlazhdeniya s elektronnyim upravleniem avtomobilnogo dvigatelya / Kuze Yosikazu (Yaponiya) – № 98120906/06; Zayavl. 19.11.1998; Opubl. 20.09.2000.
5. Sistema ohlazhdeniya dvigatelya s elektronnyim regulirovaniem. Ustroystvo i printsip deystviya / Programma samoobucheniya.
6. «Mercedes-Benz A45 AMG». Zhurnal «Avtoreviyu», 2013, № 13(145).– 38-40 s.

Поступила в редакцию 10.06.2013

**Мешков Денис Викторович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: denys.meshkov@mail.ru

**Горячий Ярослав Владимирович** – начальник сервиса официального представительства концерна Volkswagen в Украине, автомобильного дома «Солли+», г. Харьков, Украина, e-mail: ygoriachy@gmail.com

**СИСТЕМА ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА З ЕЛЕКТРОНИМ КЕРУВАННЯМ**

*Д.В. Мешков, Я.В. Горячий*

У статті розглянуті основні проблеми, що виникають при використанні традиційної конструкції системи рідинного охолодження для сучасного високофорсованого двигуна. Виконаний аналіз існуючих конструкцій, визначені основні напрямки розвитку сучасних систем охолодження. Визначено, що найбільшої ефективності роботи ДВЗ можна досягти при впровадженні в систему охолодження електронного регулювання, що дозволить гнучко управляти температурою охолоджуючої рідини залежно від режиму роботи двигуна.

**COOLING SYSTEM WITH ELECTRONIC CONTROL**

*D.V. Meshkov, J.V. Gorajchij*

The paper describes the main issues arising from the use of traditional liquid cooling system design for modern turbo-charged engine. The analysis of existing structures, the main directions of development of modern cooling systems was made. It was determined that the greatest efficiency of internal combustion engines can be achieved by introducing a system of electronic control for cooling system that will allow flexibility to control the temperature of the cooling liquid, depending on the mode of operation.