

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО УРОВНЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКИ ФИЛЬТРАЦИИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

ANALYSIS OF THE CURRENT LEVEL OF TECHNOLOGY AND ENGINEERING DEVELOPMENT OF COOLANT FILTRATION IN AUTOMOTIVE AND TRACTOR ENGINES

С.Г. ДРАГОМИРОВ¹, д.т.н.
М.С. ДРАГОМИРОВ², к.т.н.
П.И. ЭЙДЕЛЬ²
А.Ю. ГАМАЮНОВ²

¹ Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия
² ООО «НТЦ «АвтоСфера» при Владимирском
государственном университете
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, Россия,
ds33@bk.ru

S.G. DRAGOMIROV¹, DSc in Engineering,
M.S. DRAGOMIROV², PhD in Engineering,
P.I.G. EYDEL²
A.Y. GAMAYUNOV²

¹ Vladimir State University, Vladimir, Russia
² LLC "STC "AutoSphere" at Vladimir State University", Vladimir,
Russia, ds33@bk.ru

В статье анализируются современные технологии и средства фильтрации (очистки) охлаждающей жидкости автомобильных и тракторных двигателей. Рассмотрена критически острая и до настоящего времени не решенная проблема загрязнения охлаждающей жидкости и систем охлаждения двигателей в целом. Дана общая оценка существующих технологий и устройств фильтрации. Все устройства фильтрации разделены на три группы, по каждой из которых приведен анализ их принципиальных недостатков и достоинств. Показано, что зарубежные конструкции фильтров не столько выполняют функцию фильтрации, сколько служат в качестве носителей специальных химических присадок для улучшения физико-химических свойств антифризов. Эти фильтры принципиально не могут быть полнопоточными, т.к. при их полном засорении прекратится циркуляция антифриза. В целом технологии фильтрации охлаждающей жидкости через пористые материалы (микропористый картон, химические волокна) или металлические сетки нельзя считать перспективными. Это обосновано тем, что в процессе очистки охлаждающей жидкости фильтрующие элементы подобного типа быстро засоряются, что существенно уменьшает количество пропускаемой жидкости. В предельном случае они вообще перестают пропускать жидкость. Также из-за быстрого загрязнения подобные фильтры жидкости требуют замены или очистки. Рассмотрены новая концепция модифицированной гидроциклонной очистки охлаждающей жидкости и разработанный на ее основе гидроциклонный фильтр-сепаратор (защищен патентом РФ на изобретение № 2625891). Приведено сравнение конкурентных показателей разработанного гидроциклонного фильтра-сепаратора с зарубежными аналогами. Гидроциклонные фильтры-сепараторы обладают целым рядом принципиальных достоинств: высокой производительностью и непрерывностью работы; предельно простой конструкцией; отсутствием фильтрующего элемента как такового и др. Сделан вывод о перспективности данного подхода к решению проблемы очистки охлаждающей жидкости двигателей автомобилей, автобусов, тракторов, строительно-дорожных и лесотехнических машин, сельскохозяйственной и армейской техники и др.

Ключевые слова: автомобильные и тракторные двигатели, охлаждающая жидкость, загрязнения, очистка, фильтры, гидроциклонные устройства.

The article analyzes modern technologies and means of filtering (cleaning) the coolant of automobile and tractor engines. A critical and still unresolved problem of contamination of the coolant and engine cooling systems in general is considered. A general assessment of existing filtration technologies and devices is given. All filtration devices are divided into three groups and an analysis of their principal disadvantages and advantages is given for each of the groups. It is shown that foreign filter designs do not perform the filtration function so much as they serve as carriers of special chemical additives to improve the physical and chemical properties of coolant. In principle, these filters cannot be full-flow, because if they are completely clogged, the circulation of coolant will stop. In general, technologies for filtering of coolant through porous materials (microporous cardboard, chemical fibers) or metal grids cannot be considered promising. This is justified by the fact that in the process of cleaning the coolant, filter elements of this type quickly become clogged and significantly reduce the amount of coolant passed. In the extreme case, they stop passing coolant at all. Also, due to rapid contamination, such filters need to be replaced or cleaned. A new concept of a modified hydrocyclone coolant cleaning and a hydrocyclone filter-separator developed on its basis (protected by the RF patent for invention No. 2625891) are considered. The comparison of competitive indicators of the developed hydrocyclone filter-separator with foreign analogues is given. Hydrocyclone filter-separators have a lot of fundamental advantages: high productivity and continuous operation; extremely simple design; the absence of the filter element itself, etc. The conclusion is made about the prospects of this approach to solving the problem of cleaning the coolant of engines of cars, buses, tractors, road construction and forestry machines, agricultural and army equipment, etc.

Keywords: automobile and tractor engines, coolant filtration, contamination, cleaning, hydrocyclone devices.

Введение

В области систем жидкостного охлаждения автомобильных и тракторных поршневых двигателей критически острой проблемой является загрязнение охлаждающей жидкости (ОЖ) и системы в целом. Эта проблема существует с момента появления систем жидкостного охлаждения. Но, к сожалению, она до сих пор эффективно не была решена в современной индустрии, т.к. применяемые до последнего времени технологии и устройства очистки ОЖ в процессе эксплуатации двигателей не соответствуют современным, постоянно возрастающим требованиям.

Актуальность решения проблемы загрязнения ОЖ автомобильных и тракторных поршневых двигателей обусловлена структурными и конструктивными усложнениями их систем жидкостного охлаждения (СЖО) при одновременном повышении требований к их надежности и теплоотводящей функции в процессе непрерывного форсирования двигателей [1, 2]. Неизбежность загрязнения системы охлаждения автотранспортных двигателей (особенно тяжелонагруженных) и отсутствие на сегодняшний день эффективных научно-технических решений в этой области делают решение данной проблемы загрязнения крайне актуальным в мировом двигателестроении.

Данные по эксплуатации автотранспортной техники показывают, что от 25 до 40 % неисправностей и отказов двигателей приходится на СЖО [3, 4]. Чаще всего неполадки в системе охлаждения появляются уже после 150...200 тыс. км пробега автомобиля. У двигателей тяжелых грузовиков (а также автобусов, сельскохозяйственных и промышленных тракторов, строительно-дорожных машин и т.п.), работающих обычно с 70...85%-й нагрузкой, из-за более тяжелых условий работы неполадки могут возникнуть уже после 500...700 часов эксплуатации.

Загрязнение ОЖ и системы охлаждения в целом неизбежно [5, 6] в силу наличия производственно-технологических причин (попадание в полости двигателя формовочного песка, стружки, частиц абразива, окалина в процессе производства) в результате действия эксплуатационных факторов (проявление кавитационной эрозии и химической коррозии металлических элементов системы охлаждения, наличие продуктов разложения антифризов и образование различных отложений в системе), а также

вследствие недостаточно высокой культуры эксплуатации (загрязнения песком, частицами герметиков, фрагментами прокладок, продуктами для предотвращения течей и др.).

Обобщенная причина появления (генерации) загрязнений в СЖО в процессе эксплуатации двигателя – физико-химическое взаимодействие ОЖ с различными разнородными элементами и материалами системы охлаждения [5]. Результатом этого физико-химического взаимодействия является кавитационная эрозия металлов, их химическая коррозия, образование накипи и различных отложений, разложение присадок, разрушение элементов системы и т.п.

К основным неисправностям СЖО относятся: различные течи, разрушение прокладок и сальников, ошибки в срабатывании термостатов и датчиков, закупоривание проточных каналов радиаторов, блоков и головок цилиндров. В условиях эксплуатации в системе охлаждения и ее элементах протекают процессы кавитационной эрозии и химической коррозии, появляются отложения на теплопередающих поверхностях (накипь), образуются продукты разложения и выработки антифризов. Все это приводит к ухудшению передачи тепла от нагретых деталей двигателя в системе охлаждения, что может вызвать его перегрев и снижение энергетических показателей, а также значительно повышает риск выхода двигателя из строя.

Все указанные проблемы СЖО при эксплуатации автотранспортных двигателей в значительной степени обусловлены наличием в ОЖ загрязнений различной природы [6].

Цель исследований

Критический анализ существующих технологий и устройств фильтрации (очистки) охлаждающей жидкости современных автомобильных и тракторных двигателей и определение на основе этого анализа перспективного направления развития высокоэффективной фильтрации ОЖ.

Материалы и методы

В настоящее время очистке ОЖ и поддержанию чистоты системы жидкостного охлаждения в целом уделяется незаслуженно мало внимания как за рубежом, так и в России.

Среди немногочисленных публикаций по этой тематике известны только три зару-

бежные работы [7–9], действительно обладающие научной ценностью. Все остальные зарубежные публикации носят неглубокий информационно-описательный, либо рекламно-ознакомительный характер.

В России научные публикации по этой тематике до последнего времени практически отсутствовали и научно-исследовательские работы не проводились, за исключением нескольких инициативных исследований.

К сожалению, это не свидетельствует об отсутствии проблемы фильтрации охлаждающей жидкости, а говорит лишь о ее сложности и нерешенности в современной науке и практике двигателестроения.

Современные устройства фильтрации (очистки) охлаждающей жидкости транспортных двигателей обладают низкой эффективностью вследствие явной шаблонности конструкций и отсутствия инновационных подходов к решению задачи фильтрации ОЖ.

Высокоэффективная фильтрация ОЖ действительно является сложной технической задачей в связи с тремя обстоятельствами:

- расходы ОЖ в контуре системы охлаждения могут достигать у двигателей легковых автомобилей величины 100...150 л/мин., у двигателей грузовых автомобилей – 250...350 л/мин., у тракторных дизелей – 200...300 л/мин.;
- рабочие температуры ОЖ составляют + 80...105 °С (кратковременно до +125 °С);
- современные антифризы представляют собой агрессивные жидкости (смесь воды с этиленгликолем или пропиленгликолем), что предъявляет особые требования к материалам фильтра.

Эти обстоятельства делают весьма сложной задачу высокоэффективной фильтрации (очистки) ОЖ на борту автомобиля или трактора. Значительные расходы агрессивной жидкости при высокой температуре довольно сложно очищать с высокой эффективностью, не снижая при этом пропускную способность фильтра.

Кроме этого, следует учитывать и достаточно жесткие требования к бортовым устройствам фильтрации (очистки) ОЖ: ограниченное гидравлическое сопротивление (не более 10 кПа), высокая надежность, длительный срок службы (до замены или очистки от загрязнений), устойчивость к вибрациям и ударам, низкая стоимость, гарантированная циркуляция ОЖ в каналах и магистралях СЖО и др.).

Именно этим, видимо, и объясняется нерешенность проблемы высокоэффективной фильтрации ОЖ автомобильных и тракторных двигателей до настоящего времени.

На сегодняшний день существующие устройства для очистки ОЖ можно разделить на несколько групп в зависимости от применяемой технологии:

- неразборные фильтры охлаждающей жидкости традиционной конструкции (типа *spine-on*) с фильтрующим элементом из микропористого картона, химического волокна или объемной сетки из нержавеющей стали;
- разборные фильтры с фильтрующим элементом в виде тонкой металлической сетки;
- гидроциклонные фильтры-сепараторы, основанные на гидроциклонном принципе работы, не имеющие фильтрующего элемента как такового.

Неразборные фильтры охлаждающей жидкости (ФОЖ) [3, 10] зарубежных компаний (Fleetguard, Donaldson, Baldwin, Hengst, WIX и др.) представляют собой по конструкции аналоги традиционных масляных фильтров. За рубежом такие фильтры устанавливаются уже более 70 лет на некоторые модели двигателей, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях (тяжелые грузовики, карьерные самосвалы, сельскохозяйственные и промышленные тракторы, строительно-дорожные машины и т.п.).

Фильтры этого типа занимают доминирующее положение на рынке ФОЖ [11] и имеют подавляющее применение (относительно других фильтров для антифризов) на тяжелой автотранспортной технике и тракторной технике. В последние годы их использование расширяется и для малотоннажных грузовых и легковых автомобилей.

Все выпускаемые на сегодняшний день подобные ФОЖ по конструкции являются несколько модифицированными аналогами традиционных масляных фильтров (рис. 1) [3, 10, 12]. В России подобные фильтры производятся по зарубежным лицензиям, собственных конструкций до последнего времени не было.

Такие ФОЖ устанавливаются на специальное посадочное место (аналогично масляному фильтру) в блоке двигателя. В зоне этого посадочного места в блоке двигателя выполнены каналы для подвода и отвода ОЖ. Следует отметить, что магистраль для установки такого ФОЖ является байпасной, т.е. через нее прохо-

дит только около 10 % (по данным производителей) всего теплоносителя, подаваемого жидкостным насосом СЖО.

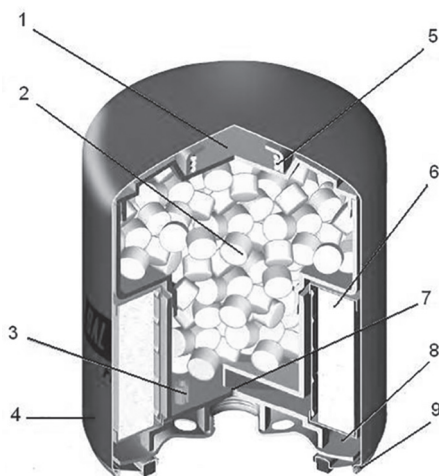


Рис. 1. Конструкция типичного фильтра охлаждающей жидкости фирмы Baldwin:

- 1 – пластиковая камера для хранения капсул;
- 2 – капсулы (гранулы) из специальной присадки к ОЖ;
- 3 – дросселирующий канал для регулирования подачи присадки;
- 4 – металлический корпус с эпоксидным покрытием;
- 5 – пружина;
- 6 – синтетический фильтрующий элемент;
- 7 – жиклер (у разных производителей – диаметр 3...4 мм), ограничивающий поток ОЖ через фильтр;
- 8 – стальное основание с резьбовым отверстием по центру;
- 9 – двойной закаточный шов, герметично соединяющий основание 8 с корпусом 4

Эти фильтры обеспечивают улавливание частиц загрязнений более 30...50 мкм (в зависимости от фирмы-производителя) с вероятностью 98 %. Межсменный срок службы подобных фильтров составляет 1 год (или 150...200 тыс. км пробега автомобиля, или 4000 часов его работы). Они рассчитаны на одноразовое применение, после чего должны утилизироваться.

В качестве вещества специальных присадок, находящихся в виде гранул в корпусе фильтра, различные фирмы используют разные составы. Как правило, это соли азотистой и борной кислот или соли фосфорной, азотистой и молибденовой кислот. Каждая из фирм-производителей использует свой состав присадок и по-своему их обозначает [3, 10, 12] – ВТЕ, ВТЕ-Plus, DCA-2, DCA-4, SCA и др.

Использование того или иного типа химических присадок обусловлено требованиями производителей автомобильной техники. На-

пример, фирма Cummins рекомендует использовать DCA-4, а Caterpillar и Detroit Diesel рекомендуют SCA. Очевидно, это определяется материалами системы охлаждения, взаимодействующими с антифризами. В процессе работы фильтра эти гранулы медленно растворяются в антифризе, восстанавливая и улучшая его физико-химические свойства.

Следует отметить, что иногда подобные ФОЖ выпускаются без химических присадок в виде гранул внутри фильтра. В этом случае химические реагенты добавляются в жидком виде по мере старения антифриза.

По нашим данным (эксперименты и компьютерное моделирование), через подобные ФОЖ пропускается менее 1 % от всего основного потока ОЖ. Это объясняется наличием у фильтров специального жиклера 7 (см. рис. 1), имеющего диаметр 3...4 мм (в зависимости от производителя). Этот жиклер устанавливается для того, чтобы замедлить и растянуть во времени поступление химических реагентов присадок в объем антифриза в системе охлаждения.

Таким образом, можно обоснованно считать, что подобные фильтры не столько выполняют функцию фильтрации ОЖ, сколько служат в качестве носителей описанных химических присадок для улучшения физико-химических свойств антифризов. Также эти фильтры принципиально не могут быть полнопоточными, т.к. при их полном засорении прекратится циркуляция ОЖ. Такие фильтры не могут устанавливаться на любые двигатели, т.к. в конструкции двигателя должно быть предусмотрено соответствующее посадочное место под фильтр и подводящий/отводящий каналы для ОЖ.

Следует отметить, что такие ФОЖ по мере загрязнения в процессе эксплуатации увеличивают свое сопротивление при одновременном ухудшении улавливающей способности. В предельном случае загрязнения они вообще перестают пропускать ОЖ через фильтрующий элемент.

Разборные фильтры с фильтрующим элементом в виде сетки [13] встречаются относительно редко. В качестве примеров можно привести (рис. 2) фильтры фирмы Valeo (Франция) для двигателей автобусов Setra, фильтры фирмы Gano (США) [14] для автотранспортных двигателей и фильтры фирмы Guidi (Италия) [15] для двигателей речной техники.



Рис. 2. Разборные фильтры с фильтрующим элементом в виде сетки:

а) фильтр ОЖ фирмы Valeo для двигателя автобуса Setra; *б)* фильтр фирмы Gano (США) для автотранспортных двигателей; *в)* фильтр фирмы Guidi (Италия) для двигателей речных судов

Подобные фильтры имеют практически одну и ту же простейшую конструкцию: фильтрующий элемент в виде металлической сетки (латунь, нержавеющая сталь) выполняется в форме конуса или цилиндра. Размер ячеек такой сетки составляет примерно от 300 до 400 мкм. Загрязнения, не проходящие через эту сетку, удерживаются и остаются внутри конуса или цилиндра. При полном загрязнении фильтра требуется его разборка для очистки.

Следует отметить, что фильтрующие элементы в виде металлической сетки имеют ограниченное количество циклов регенерации (очистки), как правило, не превышающее 30 [16]. После предельного количества регенераций сетки существенно ухудшается фильтрация жидкости (снижается пропускная способность сетки).

Преимуществами фильтров второй группы (по сравнению с конструкциями первой группой) являются:

- возможность полнопоточной фильтрации;
- разборная конструкция и возможность многократного применения;
- удобство монтажа на любом участке гидравлического контура.

К недостаткам этих фильтров можно отнести:

- невозможность улавливания твердых частиц с размерами <300 мкм;
- необходимость частой очистки фильтрующего элемента от загрязнений;
- опасность полного загрязнения фильтра, что может привести к серьезным последствиям, вплоть до выхода двигателя из строя.

Общее свойство фильтров ОЖ первой и второй групп – это увеличение гидравлического сопротивления по мере загрязнения фильтрующих элементов.

В целом технологии фильтрации ОЖ через пористые материалы (микропористый картон, химические волокна) или металлические сетки

нельзя считать перспективными. Это объясняется тем, что в процессе очистки ОЖ фильтрующие элементы подобного типа быстро засоряются, что существенно уменьшает количество пропускаемой жидкости. В предельном случае они вообще перестают пропускать жидкость.

Кроме этого, из-за быстрого загрязнения подобные фильтры ОЖ требуют частой замены или очистки. В связи с этим их обычно устанавливают в байпасных магистралях СЖО, что позволяет снизить риск прекращения тока охлаждающей жидкости. При этом неполнопоточная фильтрация ОЖ (в байпасном канале) не отличается высокой эффективностью.

Гидроциклонные фильтры-сепараторы (ГФС) [17–20], отнесенные к третьей группе, в принципе свободны от недостатков фильтров первых двух групп.

Среди устройств этой группы выделяется эффективное, простое и надежное техническое решение [20], основанное на модифицированном гидроциклонном способе очистки жидкостей. Это устройство очистки, разработанное на кафедре двигателей Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, на наш взгляд, имеет хорошие перспективы, в связи с чем требует анализа конкурентных преимуществ.

Объективно необходимо отметить, что известны ранние предложения [17–19] применения принципа гидроциклона для очистки ОЖ транспортных двигателей. Однако практического применения они не получили, поскольку классический гидроциклон имеет значительное гидравлическое сопротивление и большие габариты (особенно в вертикальном направлении). Видимо, это и явилось препятствием для практического использования гидроциклонного очистителя охлаждающей жидкости транспортных двигателей.

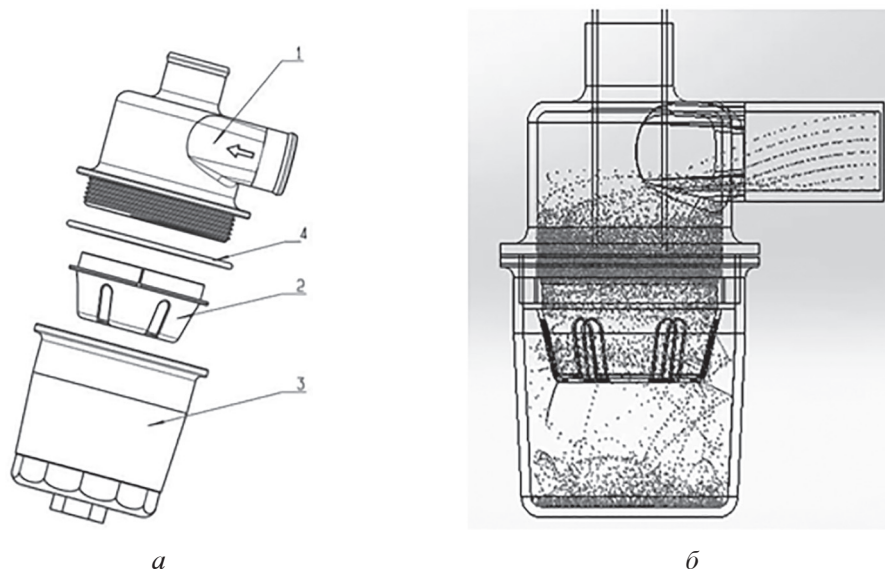


Рис. 3. Конструкция гидроциклонного фильтра-сепаратора (а) и его принцип действия (б):
1 – закручивающий аппарат; 2 – конусная сепарирующая чашка с улавливающими окнами; 3 – отстойник; 4 – уплотнительное кольцо

В разработанном гидроциклонном фильтре-сепараторе [20] (рис. 3) поток антифриза с твердыми частицами загрязнений поступает в закручивающий аппарат 1 через тангенциальный вход, в результате чего происходит закручивание потока. При прохождении закрученного потока через конусную сепарирующую чашку 2 под действием центробежных сил твердые частицы отбрасываются через улавливающие окна в отстойник 3 и там оседают. Принцип действия ГФС аналогичен принципу действия гидроциклонов: отделение твердых частиц загрязнений от потока ОЖ происходит под действием центробежных сил (рис. 3, б).

Однако следует отметить разницу в конструкциях этих двух устройств. Основное отличие фильтра-сепаратора от классического гидроциклона заключается в наличии улавливающих окон, расположенных на конусной части сепарирующей чашки, через которые твердые частицы загрязнений и попадают в отстойник (рис. 3).

Кроме этого, ГФС имеет разборную конструкцию, что делает его более компактным и удобным при установке и эксплуатации. Внешний вид гидроциклонного фильтра-сепаратора представлен на рис. 4.

Ранее подобный способ очистки охлаждающих жидкостей в СЖО автотранспортных двигателей не применялся, поэтому прямых (принципиальных) аналогов данная разработ-



Рис. 4. Внешний вид гидроциклонного фильтра-сепаратора

ка не имеет не только в России, но и за рубежом. Оригинальность технического решения, подтверждена патентом РФ на изобретение № 2625891 [20].

К конкурентным преимуществам созданного ГФС следует отнести следующие достоинства:

- высокоэффективную полнопоточную фильтрацию, обусловленную применением гидроциклонного принципа работы фильтра-сепаратора;
- отсутствие собственно фильтрующего элемента, что упрощает конструкцию, снижает стоимость и существенно повышает пропускную способность фильтра;
- срок службы ГФС примерно равен ресурсу работы двигателя;

– ГФС имеет разборную конструкцию, что позволяет его использовать многократно (с периодической очисткой);

– ГФС обладает конструктивной и технологической простотой, легкостью установки на транспортном средстве (не требует специально выполненного посадочного места на блоке двигателя).

К особенностям работы ГФС можно отнести следующее:

– зависимость эффективности сепарации от расхода жидкости;

– при малых расходах жидкости часть твердых частиц загрязнений может не улавливаться и циркулировать в контуре СЖО;

– не удаляются из потока частицы с плотностью меньше плотности теплоносителя (как правило, это органические частицы).

Фильтры (по сути, устройства очистки), принцип действия которых основан на применении центробежных сил, не позволяют осуществлять тонкую очистку жидкости, но для современных СЖО поршневых двигателей такая фильтрация и не требуется.

Результаты и обсуждение

Для оценки и сравнения рабочих показателей и характеристик описанных устройств фильтрации (очистки) ОЖ они обобщены в таблице и представлены 12 показателями (критериями оценки).

Анализ данных таблицы позволяет сделать обоснованный и объективный вывод о том, что созданный во Владимирском государственном университете им. А.Г. и Н.Г. Столетовых гидроциклонный фильтр-сепаратор имеет наилучшие показатели среди выпускаемых устройств для очистки охлаждающей жидкости в автотранспортных двигателях.

Созданный гидроциклонный фильтр-сепаратор может найти эффективное применение в системах жидкостного охлаждения поршневых двигателей различного назначения: автомобилей, автобусов, сельскохозяйственных и промышленных тракторов, строительно-дорожных и лесотехнических машин, армейской техники и др.

Разработки и научные исследования гидроциклонного фильтра-сепаратора являются началом большой работы по формированию нового перспективного направления в области совершенствования автомобильных и тракторных поршневых двигателей – высокоэффективной фильтрации охлаждающей жидкости. В результате этой работы на рынке автокомпонентов должны появиться простые, недорогие, надежные и высокоэффективные инновационные гидроциклонные фильтры-сепараторы ОЖ.

Заключение

Использование абсолютно чистой охлаждающей жидкости в СЖО автомобильных и тракторных двигателей

Таблица

Основные показатели выпускаемых фильтров охлаждающей жидкости

| Показатели фильтров (критерии оценки) | Неразборные фильтры spin-on | Разборные сетчатые фильтры | Гидроциклонный фильтр-сепаратор |
|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. Конструктивная и технологическая сложность | высокая | средняя/невысокая | невысокая |
| 2. Полнопоточная фильтрация | нет | да/нет | да |
| 3. Тонкость фильтрации (номинальная), мкм | 30...50 | 300 | 100...200 |
| 4. Стабильность характеристик | нет | нет | да, высокая |
| 5. Грязеемкость | средняя | малая/средняя | высокая |
| 6. Применение: одноразовое/многократное | одноразовое (неразборные) | многократное (разборные) | многократное (разборный) |
| 7. Удобство технического обслуживания | не требуется | невысокое | высокое |
| 8. Удобство замены | высокое | не требуется | не требуется |
| 9. Ресурс работы | 1 год или 200 тыс. км пробега | равен ресурсу двигателя | равен ресурсу двигателя |
| 10. Способность поддерживать химсостав антифриза | имеется | невозможно | имеется |
| 11. Ограничения по установке/компоновке | специальное место для установки | ограничения только по габаритам | ограничения только по габаритам |
| 12. Стоимость 1 ед., \$ | 12...50 | 10...200 | 50...80 |

торных поршневых двигателях практически невозможно, поскольку причиной появления загрязнений различной природы в системе охлаждения двигателя при его эксплуатации является физико-химическое взаимодействие ОЖ (антифриза) с различными элементами и различными материалами системы. Всегда будут существовать эксплуатационные факторы, способствующие образованию загрязнений.

Условия эксплуатации, а также возрастающая функциональная и конструктивная сложность систем жидкостного охлаждения современных автомобильных и тракторных поршневых двигателей требуют очистки охлаждающей жидкости.

Технологии фильтрации охлаждающей жидкости через пористые материалы (микропористый картон, химические волокна) или металлические сетки нельзя считать перспективными. Фильтры на основе подобных технологий не обладают требуемыми рабочими показателями.

Наилучшие рабочие характеристики среди известных устройств для очистки охлаждающей жидкости в автомобильных и тракторных двигателях имеет созданный гидроциклонный фильтр-сепаратор. Можно ожидать его эффективного применения в системах жидкостного охлаждения поршневых двигателей различного назначения: автомобилей, автобусов, сельскохозяйственных и промышленных тракторов, строительно-дорожных и лесотехнических машин, армейской техники и др.

Литература

1. Иванов И.Е., Шатров М.Г., Кричевская Т.Ю. Системы охлаждения поршневых ДВС: монография. М.: МАДИ, 2015. 168 с.
2. Якубович А.И., Кухаренок Г.М., Тарасенко В.Н. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирование. Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. 473 с.
3. Руководство по продуктам для системы охлаждения. Cummins Filtration. 2009. 8 с.
4. Engine cooling. Behr Hella Service GmbH. 2008 52 pp.
5. Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю. Природа и характеристики загрязнений в системах охлаждения автотранспортных двигателей. East European Science Journal. 2019. #5(45). Part 1. Зр. 49–54.
6. Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю. Высокоэффективная филь-

трация охлаждающей жидкости – перспективное направление совершенствования автотранспортных двигателей // Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сб. трудов Международной н.-т. конф. 31 января 2019, 8-е Луканинские чтения. М.: МАДИ, 2019. С. 488–501.

7. Hudgens R.D., Hercamp R.D. Filtration of Coolants for Heavy Duty Engines. SAE Techn. Pap. Ser. № 881270. 17 p.
8. Eaton E.R., Duvnjak E. Examinatoins of Extended Life Heavy Duty Engine Coolant Filters. SAE Techn. Pap. Ser. № 2004-1-0157. 10 p.
9. Hudgens R.D., Hercamp R.D. An Overview of On-board Coolant Filtration for Heavy Duty Diesel Engines. SAE Techn. Pap. Ser. № 2005-01-2014. 16 p.
10. Engine Liquid Filtration. Minneapolis: Donaldson Company Inc., 2014. 156 p.
11. Automobile Filters Market. Global Forecast to 2025. Markets&Markets, 2019. 242 p.
12. Техническая брошюра по фильтрам. MS Motorservice Int. GmbH, 2014. 48 с.
13. Антропов Б.С., Бодров В.А., Басалов И.С. Защита радиаторов системы охлаждения двигателей от продуктов накипи и коррозии // Вестник АПК Верхневолжья. 2014. № 4. С. 82–84.
14. URL: <https://ganofilters.com>
15. URL: <https://catalogue.guidisrl.it/en/54-water-strainers>
16. URL: <http://www.cemkzn.ru/articles/article8-podgotovka-vody-dlya-zavodneniya-neftyanyh-plastov>
17. Шеремет П.З. Система жидкостного охлаждения двигателя внутреннего сгорания: патент РФ на изобретение № 2023889. 1991. 3 с.
18. Шеремет П.З. Система жидкостного охлаждения двигателя внутреннего сгорания: патент РФ на изобретение № 2022132. 1991. 4 с.
19. Фурман В.В., Чертов С.Н. Циклонное устройство для очистки жидкостей: патент РФ на изобретение № 2183508. 2001. 5 с.
20. Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю., Селиванов Н.М. Гидроциклонное устройство для очистки от твердых частиц загрязнений охлаждающей жидкости поршневых двигателей: патент РФ на изобретение № 2625891. 2017. 10 с.

References

1. Ivanov I.E., Shatrov M.G., Krichevskaya T.Yu. Sistemy okhlazhdeniya porshnevykh DVS [Cooling systems of piston internal combustion engines], Moscow, MADI Publ., 2015, 168 p.
2. Yakubovich A.I., Kukharenek G.M., Tarasenko V.N. Sistemy okhlazhdeniya traktornykh i avto-

- mobil'nykh dvigateley. Konstruktsiya, teoriya, proyektirovaniye [The cooling system of tractor and automobile engines. Construction, theory, design], Moscow, INFRA-M Publ., 2014, 473 p.
3. Rukovodstvo po produktam dlya sistemy okhlazhdeniya [The product guide for the cooling system], Cummins Filtration, 2009, 8 p.
 4. Engine cooling, Behr Hella Service GmbH., 2008, 52 p.
 5. Dragomirov S.G., Dragomirov M.S., Eydel P.Ig., Gamayunov A.Y. Nature and characteristics of pollutants in cooling systems of motor vehicles, East European Science Journal, 2019, #5(45), part 1, pp. 49–54.
 6. Dragomirov S.G., Dragomirov M.S., Eydel P.Ig., Gamayunov A.Y. Highly effective coolant filtration as a promising direction for improving motor vehicles engines, 8-е Lukaninskiye chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa: sb. trudov Mezhdunarodnoy n.-t. konf. 31 yanvarya 2019 [8th Lucanin's Readings. Problems and prospects of development of the motor transport complex: proceedings of the International Scientific Conference held on January 31, 2019], Moscow, MADI Publ., 2019, pp. 488–501 (in Russ.).
 7. Hudgens R.D., Hercamp R.D. Filtration of Coolants for Heavy Duty Engines. SAE Techn. Pap. Ser. No 881270, 17 p.
 8. Eaton E.R., Duvnjak E. Examinatoin of Extended Life Heavy Duty Engine Coolant Filters. SAE Techn. Pap. Ser. No 2004, 1-0157, 10 p.
 9. Hudgens R.D., Hercamp R.D. An Overview of On-board Coolant Filtration for Heavy Duty Diesel Engines. SAE Techn. Pap. Ser. No 2005-01-2014, 16 p.
 10. Engine Liquid Filtration. Minneapolis, Donaldson Company Inc., 2014, 156 p.
 11. Automobile Filters Market – Global Forecast to 2025, Markets&Markets, 2019, 242 p.
 12. Tekhnicheskaya broshyura po fil'tram [Technical brochure on filters]. MS Motorservice Int. GmbH, 2014, 48 p.
 13. Antropov B. S., Bodrov V. A., Basalov I. S. Protection of radiators of the engine cooling system from products of scale and corrosion, Bulletin of the upper Volga agricultural complex, 2014. No 4, pp. 82–84 (in Russ.).
 14. URL: <https://ganofilters.com>.
 15. URL: <https://catalogue.guidisrl.it/en/54-water-strainers>.
 16. URL: <http://www.eemkzn.ru/articles/article8-podgotovka-vody-dlya-zavodneniya-neftyanyh-plastov>.
 17. Sheremet P.Z. Patent RU 2023889, 1991.
 18. Sheremet P.Z. Patent RU 2022132, 1991.
 19. Furman V.V., Chertov S.N. Patent RU 2183508, 2001.
 20. Dragomirov S.G., Dragomirov M.S., Eydel P.Ig., Gamayunov A.Y., Selivanov N.M. Patent RU 2625891, 2017.

Данное исследование выполнено в рамках реализации инновационного проекта «Разработка, изготовление и испытания опытного образца фильтра охлаждающей жидкости на основе моделирования гидравлических и сепарационных процессов» (договор № 2914ГС1/45450) Программы СТАРТ.