

15. S. Buchegger and J-Y. Le Boudec. Nodes bearing grudges: Towards routing security, fairness and robustness in mobile ad hoc networks. In Proceedings of the 10th Euromicro Workshop on Parallel, Distributed and Network-based Processing, PDP 2002, Canary Islands, Spain, 2002.

16. V. Vishnumurthy, S. Chandrakumar, and E. Sirer. KARMA: A Secure Economic Framework for Peer-to-Peer Resource Sharing. In Workshop on the Economics of Peer-to-Peer Systems, P2PEcon, Berkeley, CA, USA, 2003.

**Dragomirov S. G.**

*doctor of engineering, professor,  
Vladimir State University, Russia*

**Eydel P. Ig.**

*engineer,*

*L.L.C. "STC "AutoSphere"*

*at Vladimir State University", Russia*

**Dragomirov M.S.**

*candidate of technical Sciences*

*L.L.C. "STC "AutoSphere"*

*at Vladimir State University", Russia*

**Gamayunov A. Y.**

*Engineer,*

*LLC "STC "AutoSphere"*

*at Vladimir State University", Russia*

#### **PROMISING APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM HIGH-EFFICIENCY COOLANT FILTRATION IN ENGINES VEHICLES**

**Драгомиров Сергей Григорьевич**

*доктор технических наук, профессор кафедры двигателей  
Владимирского государственного университета  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Россия*

**Эйдель Павел Игоревич**

*инженер*

*ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ», Россия*

**Драгомиров Михаил Сергеевич**

*кандидат технических наук,*

*ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ», Россия*

**Гамаюнов Антон Юрьевич**

*инженер*

*ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ», Россия*

#### **ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В АВТОТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**

**Summary.** The article analyzes the critical and still unsolved problem of contamination of the coolant and engine cooling systems in General. The assessment of existing filtration devices is given, and their principal disadvantages are given. A new concept of modified hydrocyclone coolant cleaning is proposed. Its advantages, features, results of laboratory studies and operational tests are given. The conclusion is made about the prospects of this approach to solving the problem of high-efficiency filtration of engine coolant.

**Аннотация\*.** В статье анализируется критически острая и до настоящего времени не решенная проблема загрязнения охлаждающей жидкости и систем охлаждения двигателей в целом. Дана оценка существующих устройств фильтрации, приведены их принципиальные недостатки. Предложена новая концепция модифицированной гидроциклонной очистки охлаждающей жидкости. Даны ее преимущества, особенности, результаты лабораторных исследований и эксплуатационных испытаний. Сделан вывод о перспективности данного подхода к решению проблемы высокоэффективной фильтрации охлаждающей жидкости двигателей.

**Keywords:** *coolant, pollution, motor vehicles, coolant filtration, hydrocyclone filters, separation, hydraulic resistance.*

---

\* Данное исследование выполнено в рамках реализации инновационного Проекта № 45450 "Разработка конструкции инновационного высокоэффективного фильтра для систем охлаждения автотранспортных двигателей и формирование научно-технического задела для развития его промышленного производства" Программы СТАРТ.

Ключевые слова: охлаждающая жидкость, загрязнения, автотранспортные двигатели, фильтрация, гидроциклонные фильтры, сепарация, гидравлическое сопротивление.

### Постановка проблемы

В области систем жидкостного охлаждения автотранспортных 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 решена в современной автоиндустрии, т.к. применяемые до последнего времени технологии и устройства очистки ОЖ в процессе эксплуатации двигателей не соответствуют современным постоянно возрастающим требованиям.

Структурные и конструктивные усложнения системы жидкостного охлаждения (СЖО) современных автотранспортных поршневых двигателей при одновременном повышении требований к ее надежности и теплоотводящей функции в процессе непрерывного форсирования двигателей, предъявляют повышенные требования к чистоте ОЖ и системы охлаждения. Неизбежность загрязнения СЖО двигателей (особенно тяжело нагруженных) и отсутствие на сегодняшний день эффективных научно-технических решений в этой области обуславливают необходимость новых подходов и инновационных решений для фильтрации ОЖ автотранспортных двигателей.

Статистические данные по эксплуатации автотранспортной техники показывают, что от 25 до 40 % неисправностей и отказов двигателей приходится на СЖО [1,2]. Чаще всего неполадки в системе охлаждения появляются уже после 150...200 тыс. км пробега автомобиля. У тракторных двигателей и двигателей тяжелых грузовиков (а также автобусов), работающих обычно с 70...85% нагрузкой, из-за более тяжелых условий работы неполадки могут возникнуть уже после 500...700 часов эксплуатации.

**Обобщенная причина** появления (генерации) загрязнений в СЖО – физико-химическое взаимодействие ОЖ с различными разнородными элементами и материалами системы охлаждения. Под физико-химическим взаимодействием следует понимать кавитационную эрозию, химическую коррозию, образование накипи и различных отложений, разложение присадок, разрушение элементов системы и т.п.

Загрязнение ОЖ и системы охлаждения в целом неизбежно в силу ряда производственно-технологических причин (формовочный песок,

стружка, частицы абразива, окалина в процессе производства), в результате кавитационной эрозии и химической коррозии металлических элементов системы охлаждения, а также наличия продуктов разложения антифризов и образования различных отложений в системе, вследствие не достаточно высокой культуры эксплуатации, в результате чего система загрязняется песком, частицами герметиков, фрагментами прокладок, продуктами для предотвращения течей и др.

Зарубежные исследования систем жидкостного охлаждения автомобильных двигателей показали [1], что только около 30% их количества имеют относительно чистую СЖО, остальные характеризуются средней и высокой загрязненностью. В России подобные исследования до сих пор не проводились, но можно полагать, что ситуация с загрязнениями системы охлаждения отечественных автотранспортных двигателей еще более тяжелая.

Проведенный нами анализ и обобщение опыта эксплуатации и выполненных исследований систем жидкостного охлаждения поршневых автомобильных и тракторных двигателей позволяет сделать **однозначный вывод: практически все неисправности и отказы системы охлаждения и ее элементов вызваны исключительно частицами загрязнений, циркулирующими с ОЖ в системе**, которые затем превращаются в отложения на стенках теплопередающих поверхностей и в проточных каналах системы.

### Анализ последних исследований и публикаций

Для устранения загрязнений ОЖ и системы охлаждения в целом, за рубежом более 70 лет устанавливаются специальные фильтры ОЖ (ФОЖ) на некоторые модели двигателей, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях (магистральные тягачи, тяжелые грузовики, карьерные самосвалы, строительно-дорожные машины, промышленные и сельскохозяйственные тракторы и т.п.). Производителями таких фильтров являются фирмы *Fleetguard, Donaldson, Baldwin, Hengst, WIX* и др. [3-5].

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

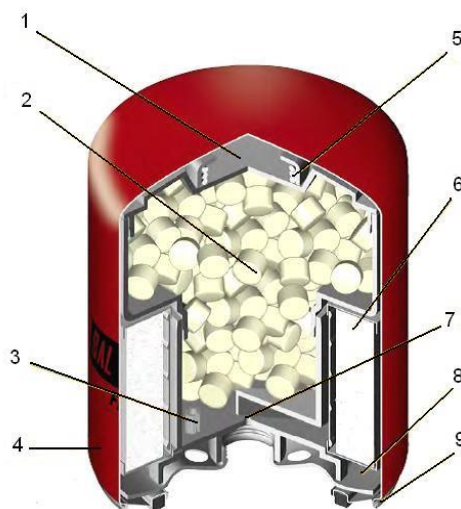


Рис. 1. Конструкция типичного фильтра охлаждающей жидкости фирмы Baldwin [3]:  
 1 – пластиковая камера для хранения капсул; 2 – капсулы (гранулы) из специальной присадки к ОЖ;  
 3 – дросселирующий канал для регулирования подачи присадки; 4 – металлический корпус с эпоксидным покрытием; 5 – пружина; 6 – синтетический фильтрующий элемент;  
 7 – жиклер (у разных производителей - Ø 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

Такие ФОЖ устанавливаются на специальное посадочное место (аналогично масляному фильтру) в блоке двигателя. В зоне этого посадочного места в блоке двигателя выполнен канал для подвода и отвода ОЖ. Следует отметить, что этот канал является байпасным, т.е. через него проходит только около 10% (по данным производителей) всего теплоносителя, подаваемого насосом. Такие ФОЖ по мере загрязнения в процессе эксплуатации увеличивают свое сопротивление при одновременном ухудшении улавливающей способности.

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

В качестве вещества специальных присадок, находящихся в виде гранул в корпусе фильтра, различные фирмы используют разные составы. В процессе работы фильтра эти гранулы медленно растворяются в антифризе, восстанавливая и улучшая его физико-химические свойства.

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 [3-5] – *BTE*, *BTE-Plus*, *DCA-2*, *DCA-4*, *SCA* и др. Использование того или иного типа присадок обусловлено требованиями производителей автомобильной и тракторной техники. Например, фирмы *Cummins* рекомендует использовать *DCA-4*, а *Caterpillar* и *Detroit Diesel* рекомендуют *SCA*.

Следует отметить, что часто подобные ФОЖ выпускаются без химических присадок внутри фильтра.

По нашим данным (эксперименты и компьютерное моделирование) через подобные ФОЖ пропускается менее 1% от всего основного потока ОЖ, что объясняется особенностями конструкции фильтров. Такая крайне малая пропускная способность этих фильтров является причиной их низкой эффективности. Можно уверенно полагать, что подобные фильтры не столько выполняют функцию фильтрации, сколько служат в качестве носителей описанных присадок для улучшения физико-химических свойств антифризов. Также эти фильтры принципиально не могут быть полнопоточными, т.к. при их полном засорении прекратится циркуляция антифриза. Такие фильтры не могут устанавливаться на любые двигатели, т.к. в конструкции двигателя должно быть предусмотрено соответствующее посадочное место под фильтр и подводящий/отводящий канал для ОЖ.

#### **Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы**

Кардинальным решением проблемы фильтрации ОЖ и поддержания в чистоте СЖО может быть установка высокоэффективного, надежного, простого и недорогого фильтра охлаждающей жидкости. До последнего времени такой фильтр в автомобильной технике не существовал.

Для обеспечения новых, инновационных подходов к проблеме фильтрации ОЖ в условиях эксплуатации, необходимо рассмотреть в целом возможности установки фильтров в различных

точках системы охлаждения современного автотранспортного средства.

В качестве примера (рис. 2) приведена упрощенная схема системы охлаждения двигателя

современного автотранспортного средства, включающей предпусковой подогреватель (типа Webasto, Eberspacher и др.).

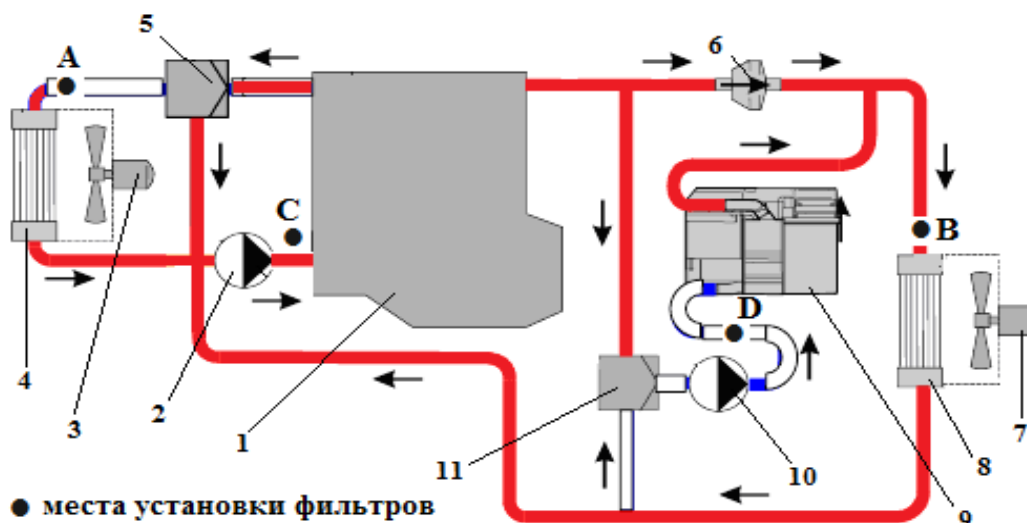


Рис. 2. Схема типичной системы охлаждения современного автотранспортного двигателя с установленным предпусковым подогревателем: 1 – двигатель; 2 – жидкостный насос СЖО двигателя; 3 – вентилятор обдува основного радиатора; 4 – основной радиатор двигателя; 5 – термостат СЖО двигателя; 6 – обратный клапан; 7 – вентилятор обдува радиатора отопителя салона; 8 – радиатор отопителя салона; 9 – предпусковой подогреватель; 10 – жидкостный насос предпускового подогревателя; 11 – термостат предпускового подогревателя

При этом возможности установки фильтра (даже без учета плотности компоновки моторного отсека) довольно ограничены. Принципиально его целесообразно устанавливать в следующих точках (местах):

- А – перед основным радиатором двигателя (для защиты радиатора от загрязнений);
- В – перед радиатором отопителя салона;
- С – после жидкостного насоса системы охлаждения (в том случае, если насос не встроен в блок двигателя, а выполнен в виде отдельного агрегата);
- Д – после жидкостного насоса предпускового подогревателя (насос, как и подогреватель, выполняется в виде отдельного агрегата).

Установка фильтров на входе в жидкостные насосы невозможна, т.к. в этом случае существенно изменятся характеристики насоса и заметно упадет его производительность. Это недопустимо.

Другие радиаторы, входящие в СЖО – охлаждения моторного и трансмиссионного масла, надувочного воздуха, рециркулируемых отработавших газов и т.п. – не несут критически важных функций и их защита от загрязнений может условно считаться второстепенной задачей.

Следует отметить, что предпусковые подогреватели включают в себя (кроме насоса и собственно подогревателя) несколько переключающих электромагнитных клапанов,

которые очень чувствительны к загрязнениям, особенно к металлическим частицам в ОЖ. Поэтому эти подогреватели целесообразно защищать с помощью фильтров.

На кафедре «Тепловые двигатели и энергетические установки» Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г.Столетовых в течении последних 5 лет были проведены НИОКР по созданию высокоэффективных инновационных устройств фильтрации ОЖ. Часть разработок защищена патентами на изобретения (патенты РФ № 2 552 547, 2 625 891), готовятся другие заявки для патентования.

#### Цель статьи

Целью статьи является изложение результатов разработки, лабораторных исследований и эксплуатационных испытаний инновационного высокоэффективного фильтра-сепаратора, созданного на основе модифицированного гидроциклонного принципа действия.

#### Изложение основного материала

На основе информационного поиска и анализа принципов действия и конструкций устройств фильтрации жидкости [6,7], наиболее перспективным направлением разработки был признан способ очистки жидкостей с использованием центробежных сил для удаления загрязнений из потока жидкости (принцип гидроциклонной очистки).

Гидроциклонные фильтры-сепараторы (ГФС) обладают целым рядом принципиальных достоинств: высокой производительностью и непрерывностью работы; предельно простой конструкцией, не содержащей подвижных элементов; отсутствием собственно фильтрующего элемента (тканевого, картонного, синтетического и т.п.) как такового; низкой стоимостью; высокой эффективностью; практически неограниченным сроком службы; повышенной надежностью даже при тяжелых условиях эксплуатации (высокие давления и температуры потоков, наличие агрессивных сред и т.п.), легкостью установки фильтра на автотранспортном средстве (как в производстве, так и в эксплуатации).

Естественно, фильтры на основе использования центробежных сил не позволяют осуществлять тонкую очистку жидкости (несколько мкм), но для условий современных СЖО автомобильных двигателей такая фильтрация и не требуется. Наши оценки показывают, что необходимая и достаточная номинальная тонкость

фильтрации ОЖ автотранспортных двигателей составляет около 200 мкм.

В ходе поисковых работ, были созданы и исследованы в лабораторных и реальных эксплуатационных условиях макетный и опытный образцы оригинального гидроциклонного фильтра охлаждающей жидкости, защищенного патентом РФ на изобретение [8].

В конструкции этого фильтра (рис. 3) удалось реализовать модифицированный гидроциклонный способ очистки жидкости при достижении компактности устройства и обеспечении возможности многократного его использования при разборной конструкции, позволяющей производить его вскрытие при демонтаже с транспортного средства для удаления загрязнений.

Данное техническое решение обладает всеми вышеуказанными принципиальными конструктивными и технологическими достоинствами гидроциклонных устройств при существенном сокращении габаритов конструкции по сравнению с классическим гидроциклоном.

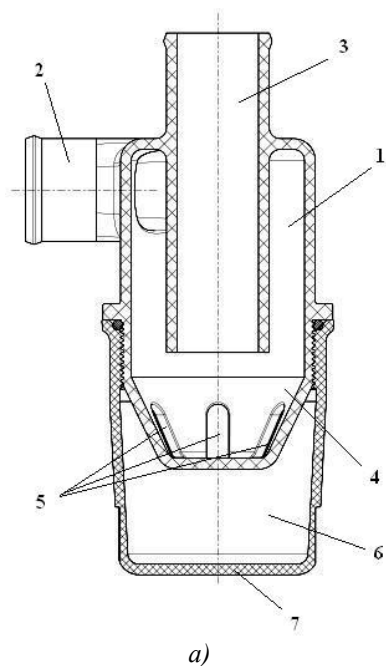


Рис.3. Схема гидроциклонного фильтра-сепаратора (а) для очистки ОЖ (патент РФ № 2 625 891) и внешний вид (б) фильтра, выпускаемого ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ»: 1 – вихревая рабочая камера; 2 и 3 – входной (тангенциальный) и выходной (осевой) патрубки; 4 – конусный улавливающий элемент; 5 - улавливающие отверстия; 6 – полость грязесборника; 7 – корпус грязесборника

ГФС может устанавливаться в основную магистраль системы охлаждения (а не в байпасную, как зарубежные аналоги), что обеспечивает его высокую эффективность.

Кроме этого, для ГФС не требуется специального посадочного места в блоке двигателя – он может устанавливаться в разрыве резиновых патрубков системы охлаждения, желательно – перед основным радиатором двигателя.

Предварительные исследования работы макетного образца гидроциклонного фильтра позволили достичь неплохих результатов.

Гидравлическое сопротивление (перепад давления между входом и выходом) серийного образца ГФС представлено на рис. 4. Как показывают представленные данные, фильтр имеет допустимое гидравлическое сопротивление -около 7 кПа при расходе 80 л/мин.

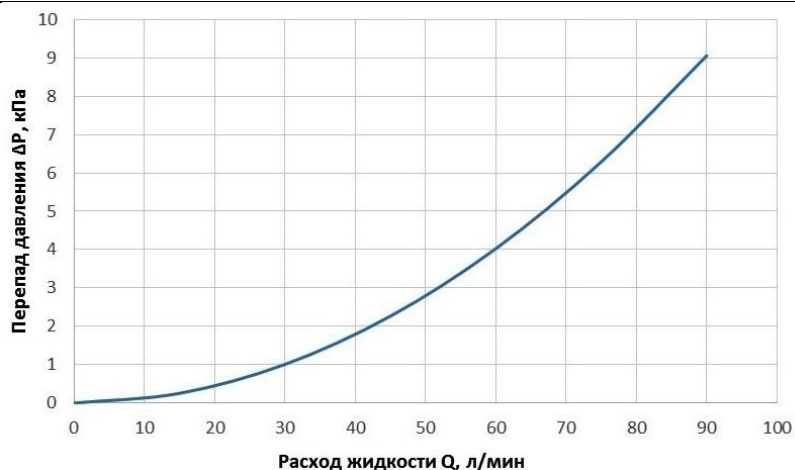


Рис.4. Гидравлическое сопротивление (перепад давления между входом и выходом фильтра) серийного образца ГФС в зависимости от расхода жидкости

Улавливающая способность ГФС характеризуется коэффициентом улавливания (фильтрации)  $\beta$ :

$$\beta = m_2/m_1, \%$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – масса поданных на вход фильтра твердых частиц и масса уловленных в грязесборник частиц, соответственно.

Специально проведенные эксперименты с калиброванными твердыми частицами (кварцевый песок), дали следующие результаты (рис.5).

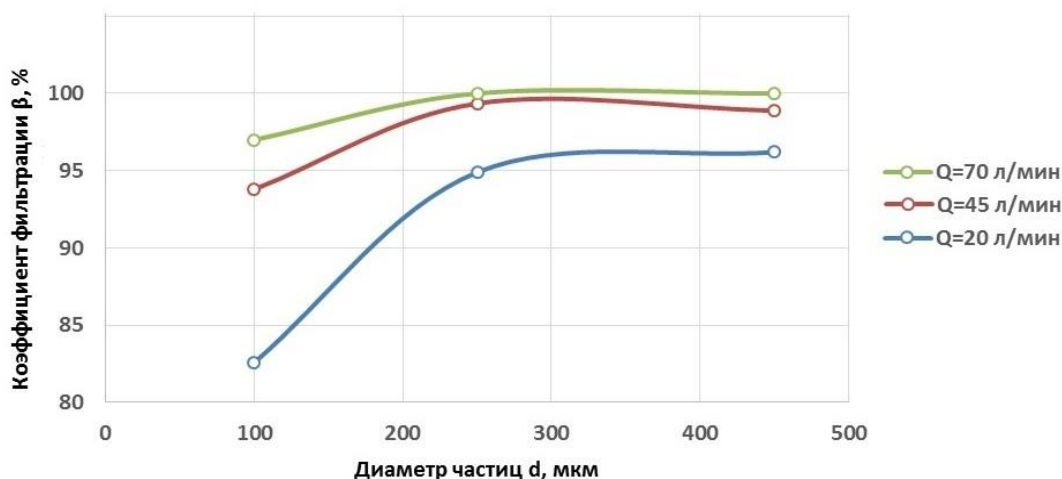


Рис.5. Улавливающая способность серийного образца ГФС в зависимости от расхода потока жидкости и размера твердых частиц

Данные графика на рис.5 показывают, что с повышением расхода жидкости (скорости потока) и с увеличением размера твердых частиц, улавливающая способность  $\beta$  ГФС растет. Это абсолютно закономерная зависимость для гидроциклонных устройств, улавливающая способность которых во многом определяется центробежными силами, действующими на твердую частицу определенной массы. Чем больше окружная скорость твердых частиц и масса (размер) каждой из них, тем выше улавливающая способность гидроциклона.

Следует отметить, что созданный ГФС имеет довольно высокую улавливающую способность, составляющую более 80% даже для частиц

размером около 100 мкм при расходах потока около 20 л/мин..

Опытные образцы ГФС прошли всесторонние испытания в реальных условиях эксплуатации на городских автобусах MAN, Mercedes, Setra, Волгабас. Установка ГФС на конкретном автобусе показана на рис. 6а.

В процессе эксплуатационных испытания за время пробега 30...35 тыс. км фильтры улавливали от 50 до 115 г твердых загрязнений (в сухом виде). Вид типичных загрязнений в грязесборнике ГФС представлен на рис. 6б.





а) б)  
Рис. 6. Установка серийного образца ГФС на городском автобусе Волгабас (а)  
и внешний вид загрязнений в грязесборнике фильтра (б)

Успешные испытания созданного гидроциклонного фильтра-сепаратора дают основание полагать, что он может найти эффективное применение в системах жидкостного охлаждения поршневых двигателей различного назначения - автомобилей, автобусов, тракторов, строительно-дорожных и лесотехнических машин, армейской техники и др.

Данные результаты разработок и исследований являются началом большой работы по становлению нового перспективного направления в области совершенствования автотранспортных поршневых двигателей – высокоэффективной фильтрации охлаждающей жидкости. В результате этой работы на рынке автокомпонентов должны появиться простые, недорогие, надежные и высокоэффективные инновационные гидроциклонные фильтры охлаждающей жидкости.

#### Выводы

1. Загрязнения в системе охлаждения автотранспортных поршневых двигателей неизбежны вследствие сложного физико-химического взаимодействия ОЖ с различными разнородными элементами и материалами системы охлаждения, а также за счет привнесенных извне в систему частиц загрязнений в процессе эксплуатации.

2. Практически все неисправности и отказы системы охлаждения и ее элементов вызваны исключительно частицами загрязнений, циркулирующими с ОЖ в системе, которые затем превращаются в отложения на стенках теплопередающих поверхностей и в проточных каналах системы.

3. Негативные последствия загрязнений системы жидкостного охлаждения проявляются в

ухудшении ее тепловых функций, в отказах и износах отдельных элементов и узлов.

4. Созданный высокоэффективный полнопоточный гидроциклонный фильтр-сепаратор решает проблему защиты системы охлаждения от загрязнений и объективно обладает существенными конкурентными преимуществами перед зарубежными аналогами, в связи с чем можно ожидать его распространения в области автомобильной и тракторной техники.

#### Библиографический список

R.D. Hudgens, Hercamp R.D. SAE Technical Paper Series 2005-01-2014. An Overview of Onboard Coolant Filtration for Heavy Duty Diesel Engines – 2005. – 16 pp.

2. Engine cooling. – Behr Hella Service GmbH., 2008, 52 pp.

3. Защита системы охлаждения /Прспект компании Baldwin Filters Inc., 2016. – 2 pp., il.

4. Руководство по продуктам для системы охлаждения. – Cummins Filtration, 2009. – 8 с., ил.

5. Engine Liquid Filtration Guide. – Minneapolis: Donaldson Company Inc., 2014. – 156 pp.

6. Бродский Г.С. Фильтры и системы фильтрации для мобильных машин. – М.: Горная промышленность, 2004. – 360 с., ил.

7. Sutherland K. Filters and Filtration Handbook – Fifth Ed. – Elsevier Ltd., 2008. – 536 pp.

8. Патент РФ на изобретение № 2625891 «Гидроциклонное устройство для очистки от твердых частиц загрязнений охлаждающей жидкости поршневых двигателей // Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю., Селиванов Н.М. – 2017. – 10 с.