

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента кандидата технических наук  
Каминского Романа Валерьевича на диссертационную работу Эйделя  
Павла Игоревича «Совершенствование системы охлаждения автотранспорт-  
ных поршневых двигателей путем разработки и применения гидроциклонно-  
го фильтра-сепаратора охлаждающей жидкости», представленную на соис-  
кание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7 –  
«Турбомашины и поршневые двигатели» в диссертационный совет  
Д.31.1.008.01 при ФГУП «НАМИ»

### **Актуальность диссертационной работы**

Современные автотранспортные поршневые двигатели характеризу-  
ются постоянным ростом удельных мощностей, что невозможно достичь без  
высокоэффективных систем жидкостного охлаждения. В связи с этим систе-  
мы охлаждения интенсивно совершенствуются – в их составе появляются  
компактные и эффективные теплообменники, устройства регулирования с  
электронными компонентами, электрические жидкостные насосы и др. При  
этом количество теплообменников (радиаторов) в системах охлаждения со-  
временных двигателей возросло до 4-5 единиц.

Теплообменники являются наиболее уязвимыми элементами систем  
охлаждения с точки зрения загрязнений. Проблема загрязнения систем жид-  
костного охлаждения уже многие десятилетия осложняет их работу, приводя  
к неэффективной работе теплообменников, выходу из строя термостатов,  
насосов и других компонентов. В результате перегрева двигателей из-за не-  
эффективной работы теплообменников возможен их перегрев и даже полный  
выход из строя.

Загрязнение систем жидкостного охлаждения является сопутствую-  
щим явлением в процессе их работы. Появление загрязнений в системе охла-  
ждения имеет несколько причин, но наиболее вероятной является физико-  
химическое взаимодействие антифризов с материалами системы охлаждения  
(алюминиевые сплавы, чугун, сталь, резина, пластики). И даже появление со-  
временных антифризов с высокими рабочими характеристиками не избавляет  
от опасности загрязнения системы жидкостного охлаждения двигателя.

Именно поэтому тема представленной диссертации является **крайне**  
**актуальной**, а полученные в ней результаты, - востребованными на практи-  
ке.

### **Научная новизна диссертационной работы**

Научная новизна выполненного диссертационного исследования за-  
ключена в нескольких положениях:

- в выявленных на основе проведенного анализа производства и эксплуатации двигателей наиболее вероятных источников появления загрязнений в системе охлаждения двигателей;
- в определенном с помощью современной аппаратуры химическом и фракционном составе твердых частиц загрязнений, находящихся в системе охлаждения двигателя;
- в разработанном модифицированном принципе гидроциклона, использованном для создания инновационного гидроциклонного устройства очистки жидкости;
- в отработанной методике предварительного гидравлического расчета гидроциклонного фильтра-сепаратора;
- в проведенной оценке необходимой и достаточной тонкости очистки (фильтрации) охлаждающей жидкости поршневого двигателя;
- в выявленной степени очистки жидкости от твердых частиц загрязнений в зависимости от величины расхода жидкости и размеров самих частиц в устройстве гидроциклонной очистки жидкости.

### **Практическая значимость полученных результатов**

Главным практическим результатом всей диссертационной работы является создание и успешная апробация оригинального гидроциклонного устройства для очистки охлаждающей жидкости автотранспортных двигателей. Это техническое решение защищено патентом РФ на изобретение (№ 2 625 891) и обладает целым рядом важных конкурентных преимуществ. Помимо этого решение является следующей, более высокой, ступенью развития фильтров охлаждающей жидкости поршневых двигателей.

Особо следует отметить, что созданное гидроциклонное устройство очистки жидкости может иметь гораздо большую сферу применения и использоваться для двигателей промышленных и сельскохозяйственных тракторов, дорожно-строительной и лесной техники, военной автомобильной и специальной техники, для судовых и тепловозных дизелей.

К другим результатам, обладающим практической значимостью, можно отнести:

- выявленные причины загрязнений систем охлаждения автотранспортных двигателей в процессе эксплуатации;
- разработанные и освоенные в серийном производстве гидроциклонные фильтры-сепараторы (производитель - ООО «НТЦ «АвтоСфера» при Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых);

- отработанная методика предварительного гидравлического расчета гидроциклонного устройства очистки охлаждающей жидкости;
- созданная и опробованная лабораторная установка для исследования устройств очистки жидкости различных конструкций и принципов действия;
- разработанные методики исследования устройств очистки охлаждающей жидкости и анализа твердых частиц загрязнений на химический и фракционный состав.

### **Достоверность и обоснованность научных положений**

Достоверность и обоснованность научных результатов диссертационной работы обусловлена использованием апробированных методов моделирования процессов течения жидкости и очистки жидкостей от твердых частиц, методов математической статистики, компьютерного моделирования и инженерного эксперимента, химического и фракционного анализа.

Адекватность полученных результатов подтверждается сравнительным анализом итогов выполненных теоретических расчетов и экспериментальных исследований при их многократной проверке, устойчивой воспроизводимостью результатов экспериментов при требуемых погрешностях измерений.

Убедительным подтверждением достоверности результатов работы является успешная реальная эксплуатация созданных гидроциклонных фильтров-сепараторов на автотранспортной технике.

### **Содержание диссертационной работы**

Выполненная диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка используемых источников, а также приложений. Диссертация содержит 175 страниц печатного текста (без учёта приложений), 19 таблиц, 141 рисунок и 111 наименований списка литературы (включая иностранные источники). В Приложении даны 6 актов использования результатов исследования.

**Во введении** в краткой форме изложено содержание решаемой в работе проблемы, дана информация о ее актуальности, описана степень разработанности темы исследования, изложены цель и задачи работы, представлена научная новизна и практическая ценность исследования, обоснована достоверность результатов работы, указаны данные по апробации диссертации.

**Первая глава** посвящена постановке проблемы и оценке перспектив развития систем жидкостного охлаждения современных двигателей. Указано, что без высокоэффективных систем охлаждения автотранспортных двигате-

лей невозможно достичь их высоких энергетических, экологических, экономических и других показателей.

С использованием статистических данных приведен анализ неисправностей отдельных компонентов систем охлаждения двигателей. Акцент при этом сделан на взаимосвязи неисправностей системы и загрязнений охлаждающей жидкости. На основе этого анализа констатировано, что большинство неисправностей и отказов элементов систем охлаждения имеют в своей основе только одну причину - загрязнение охлаждающей жидкости и системы охлаждения в целом.

Автор выполнил детальный обзор физико-химических процессов, лежащих в основе образования загрязнений в системе охлаждения, показал источники различных загрязнений. Проанализировал принципы действия и конструкции существующих фильтров охлаждающей жидкости, выявил их принципиальные недостатки.

С использованием обзорных и аналитических материалов в этой главе сформированы цель и задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** представлено обоснование основных требований к перспективному устройству очистки охлаждающей жидкости и дана оценка необходимой и достаточной тонкости очистки (фильтрации) охлаждающей жидкости автотранспортных двигателей.

Проведен критический анализ известных принципов действия и конструктивного исполнения устройств для очистки жидкостей. На основе этого анализа сделан вывод о безальтернативности использования гидроциклонного принципа действия для перспективного устройства очистки охлаждающей жидкости двигателей. Дан достаточно обширный обзор устройств очистки охлаждающей жидкости на основе зарубежной и отечественной патентно-технической информации.

Достаточно подробно описаны предпосылки создания конструкции гидроциклонного устройства для очистки охлаждающей жидкости. Предложен модифицированный принцип гидроциклона, положенный в основу разрабатываемой конструкции. Указаны преимущества применения и особенности функционирования разрабатываемого гидроциклонного фильтра-сепаратора.

**Третья глава** посвящена описанию процесса и результатов компьютерного моделирования работы гидроциклонного устройства очистки охлаждающей жидкости. С использованием компьютерного моделирования выявлена гидродинамическая картина течений жидкости в проточных элементах гидроциклонного фильтра-сепаратора. Основываясь на результатах ком-

пьютерного моделирования и анализа гидравлических процессов в разрабатываемом устройстве выполнено определение рациональных параметров его конструкции и сделана оценка улавливающей способности (коэффициента очистки) устройства.

В теоретической части работы использовался программно-вычислительный комплекс Solid Works Flow Simulation, который и является специальным инструментом для газо- и гидродинамического расчетного анализа.

В этом комплексе течение потока моделируется с использованием уравнений Навье-Стокса в нестационарной постановке, отражающих законы сохранения массы, импульса и энергии потока.

В процессе моделировании турбулентных течений уравнения Навье-Стокса осреднялись по Рейнольдсу, т. е. использовалось осредненное по малому масштабу времени влияние турбулентности на параметры потока, а крупномасштабные временные изменения осредненных по малому масштабу времени составляющих параметров потока (давления, скоростей, температуры) учитывались соответствующими производными по времени.

В результате проведенных расчетов при дальнейшем экспериментальном уточнении удалось выбрать рациональные геометрические размеры гидроциклонного фильтра-сепаратора. Принятые геометрические параметры устройства обеспечили его функционирование с достаточно приемлемыми рабочими характеристиками. Проведенные теоретические исследования гидроциклонного устройства очистки жидкости легли в основу создания методики предварительного гидравлического расчета таких устройств. Следует отметить, что автором не ставилась на этом этапе исследования задача оптимизации конструкции разрабатываемого устройства.

В целом выполненные теоретические исследования позволили автору более глубоко вскрыть механизмы функционирования устройства и рационально обосновать отдельные элементы конструкции гидроциклонного фильтра-сепаратора.

**Четвертая глава** включает описание методик и результатов экспериментальных исследований созданных макетных, опытных и серийных образцов фильтров-сепараторов в лабораторных условиях. В этой же главе приведены результаты лабораторных исследований зарубежных образцов фильтров охлаждающей жидкости различных конструкций.

В главе детально описана разработанная лабораторная установка и методики исследования различных устройств очистки жидкости (гидроциклонных устройств и выпускаемых фильтров охлаждающей жидкости).

Автором получены и описаны в этой главе характеристики гидравли-

ческого сопротивления различных устройств и проведен их сравнительный анализ. Кроме этого даны результаты экспериментального определения улавливающей способности (коэффициента очистки) разрабатываемых гидроциклонных устройств и выявлены закономерности изменения коэффициента очистки в зависимости от размера тестовых частиц и режимов течения жидкости в этих устройствах.

**В пятой главе** изложены следующие результаты исследования:

- на практических примерах показана реальная картины загрязнения систем охлаждения автотранспортных двигателей в эксплуатационных условиях;
- приведены полученные результаты испытаний разработанных опытных/серийных образцов гидроциклонных фильтров-сепараторов в условиях эксплуатации автотранспортной техники и дан их анализ;
- показан химический и фракционный состав загрязнений охлаждающей жидкости, полученных в условиях реальной эксплуатации;
- представлена на основе экспериментальных данных оценка гидравлической совместимости разработанного гидроциклоонного устройства для очистки жидкости с системой охлаждения двигателя.

Практические исследования автора эксплуатационных загрязнений системы охлаждения и ее элементов выявили наличие значительных образований накипи, продуктов химической коррозии и кавитационной эрозии деталей системы охлаждения, остатки разрушившихся уплотнительных элементов, продукты деградации антифризов, большое количество песка, силиконовых герметизирующих материалов, а также масляных и жировых отложений.

Одним из важных результатов, полученных автором, является обнаружение в охлаждающей жидкости в значительных количествах частиц железа и кремния (песка). На основе этого автор делает вывод, что в результате загрязнения антифриз представляет собой своеобразный раствор абразива, действующего на внутреннюю поверхность различных теплообменников, сальник насоса, крыльчатку, клапан термостата и др. Такое абразивное воздействие на поверхности элементов системы охлаждения (особенно в случае теплообменников) может приводить к их выходу из строя.

В этой главе автор представил интересные результаты длительных эксплуатационных испытаний различных образцов (макетных, опытных) разработанного гидроциклоонного фильтра-сепаратора. В результате этих испытаний установлено, что интенсивность образования загрязнений в системе охлаждения может составлять от 0,4 до 3г (в сухом виде) на 1000 км пробега автотранспортного средства. При установке гидроциклоонного устройства

очистки охлаждающей жидкости в систему охлаждения двигателя интенсивность образования загрязнений уменьшается в 3-4 раза, что, безусловно, говорит о положительном эффекте применения устройства очистки жидкости. Однако, в тоже время, количество образующихся загрязнений не сводится к нулю, что свидетельствует о своеобразной генерации загрязнений в системе в результате протекающих в ней физико-химических процессов, как и отмечал автор.

### **Основные замечания по диссертационной работе**

Несмотря на достаточно высокий уровень представленной диссертационной работы, она не свободна от недостатков. В качестве замечаний можно отметить следующее.

1. Из материалов работы неясно, каковы предельные возможности разработанного гидроциклонного устройства очистки жидкости, т.е. каковы минимальные размеры твердых частиц загрязнений, которые может удержать это устройство?

2. На с. 72 диссертации, в разделе обоснования требований к перспективному устройству очистки охлаждающей жидкости, автор указывает, что «при установке фильтра расход ОЖ в системе не должен снижаться более чем на 15%», однако непонятно на основании каких данных сделан этот вывод (ссылки на источники информации отсутствуют).

3. Недостаточно четко, на наш взгляд, обоснована величина грязеёмкости перспективного устройства очистки охлаждающей жидкости (с. 72 диссертации). Автор делает это в целом по автотранспортной технике, без учета класса машин, заправочных емкостей системы охлаждения, условий эксплуатации и др. Очевидно, что все эти факторы будут влиять на определение требуемой грязеёмкости фильтра.

4. На с. 90 диссертации при обосновании размера расчетной сетки автор отмечает, что выбранный размер расчетной ячейки (4 мм) обеспечивает погрешность расчета 4%, однако не указывает, каким образом он получил эту цифру погрешности.

5. В главе 5 диссертации при оценке гидравлической совместимости разрабатываемого гидроциклонного устройства очистки жидкости с системой охлаждения двигателя (с. 159-162) автор не указывает тип и погрешность применяемого в эксперименте расходомера жидкости.

### **Общее заключение**

На основании представленных в диссертации и автореферате материалов, можно сделать обоснованный вывод о том, что работа оформлена в соответствии с действующими требованиями ВАК РФ, имеет логичную струк-

туру и написана технически грамотным языком. Автореферат диссертации и опубликованные автором материалы в достаточной степени отражают содержание диссертации.

Вышеуказанные замечания имеют не касаются основных положений и результатов работы, её научной новизны и практической значимости, актуальности, достоверности выводов.

Работа имеет достаточно большую апробацию и несомненный практический выход, заключающийся в освоении промышленного производства созданного в процессе исследования гидроциклонного фильтра-сепаратора.

Данная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей научно обоснованные теоретические и прикладные результаты, совокупность которых вносит существенный вклад в решение сложной проблемы очистки охлаждающей жидкости двигателей автотранспортных средств в процессе их эксплуатации. Диссертация отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. (№842, с изменениями), а ее автор – Эйдель Павел Игоревич – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.7 – «Турбомашины и поршневые двигатели».

Официальный оппонент  
кандидат технических наук,  
технический директор  
АО «Турбокомплект»



Каминский Роман Валерьевич

«02 » ноября 2023г.

Акционерное Общество «Турбокомплект»:  
Адрес: 142281, г. Протвино, Заводской пр-д. д.4  
Тел. +79166476544  
E-mail: turbo@kamturbo.ru  
Сайт: kamturbo.ru

Подпись Каминского Р.В. заверяю:

*Машеников С.А.*

