

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Gamayunov A.Y.

Engineer,

LLC "STC "AutoSphere" at Vladimir State University", Russia

Dragomirov S. G.

doctor of engineering, professor,

Vladimir State University, Russia

Dragomirov M.S.

development Director, candidate of technical Sciences

L.L.C. "STC "AutoSphere" at Vladimir State University", Russia

NEW INTEGRAL CRITERION OF THE EFFICIENCY OF HYDROCYCLONE FILTERS-SEPARATORS FOR

Гамаюнов Антон Юрьевич

инженер

ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ», Россия

Драгомиров Сергей Григорьевич

доктор технических наук, профессор кафедры двигателей

Владимирского государственного университета

им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Россия

Драгомиров Михаил Сергеевич

директор по развитию, кандидат технических наук,

ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ», Россия

AUTOMOTIVE ANTIFREEZES НОВЫЙ ИНТЕГРАЛЬНЫЙ КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОЦИКЛОННЫХ ФИЛЬТРОВ-СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ АНТИФРИЗОВ

Summary. A serious and still unsolved problem is the cleaning of automotive antifreeze from solid particles of pollution. The article describes a new integral criterion for evaluating the efficiency of hydrocyclone filter separators. The justification of the proposed criterion is given. The criterion is designed to determine the rational geometry of the hydrocyclone filter-separator for automotive antifreeze. The results described in the article allow to balance the hydraulic resistance and the trapping capacity of hydrocyclone filters-separators.

Аннотация. Серьезной и до сих пор нерешенной проблемой является очистка автомобильных антифризов от твердых частиц загрязнений. В статье описывается новый интегральный критерий оценки эффективности гидроциклонных фильтров-сепараторов. Дано обоснование предлагаемого критерия.

Критерий предназначен для определения рациональной геометрии гидроциклонного фильтра-сепаратора для автомобильных антифризов. Описанные в статье результаты позволяют сбалансировать гидравлическое сопротивление и улавливающую способность гидроциклонных фильтров-сепараторов.

Keywords: *solid particles of impurity, coolant, antifreeze, filtration coefficient, hydraulic resistance, optimal geometry, criterion of effectiveness.*

Ключевые слова: *твердые частицы загрязнений, автомобильный антифриз, коэффициент фильтрации, гидравлическое сопротивление, оптимальная геометрия, критерий эффективности.*

Постановка проблемы

Современные автотранспортные двигатели оснащены сложными многоконтурными адаптивными системами жидкостного охлаждения (СЖО) [1], в состав которых входит большое количество элементов, таких, как жидкостные насосы, теплообменники, термостаты, всевозможные клапаны для перераспределения теплоносителя по контуру системы. На надежность СЖО оказывает значительное влияние качество антифриза [2,3], а именно наличие в нем твердых частиц загрязнений. Присутствие твердых частиц в охлаждающей жидкости (ОЖ) является причиной абразивного износа элементов СЖО, закупоривания и уменьшения проходных сечений каналов системы, износа всевозможных

уплотнений, отложений на стенках гидравлического контура.

В связи с этим, проблема удаления твердых частиц загрязнений из антифриза (и из системы в целом) является актуальным и перспективным направлением совершенствования автотранспортных двигателей. Перспективное устройство для удаления твердых частиц из антифриза в процессе эксплуатации транспортного средства, помимо высоких фильтрующих показателей, должно иметь минимальное гидравлическое сопротивление. В противном случае, расход теплоносителя снизится ниже минимально допустимых значений. Поэтому при разработке устройства для очистки антифриза необходимо учитывать эти два параметра –

улавливающую способность (коэффициент фильтрации) и гидравлическое сопротивление.

Анализ последних исследований и публикаций

На сегодняшний день, существующие устройства для очистки ОЖ, можно разделить на три группы.

1. Фильтры охлаждающей жидкости (ФОЖ) [4,5] зарубежных компаний Fleetguard, Donaldson, Baldwin, Hengst, WIX и др. По конструкции являются аналогами 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, строительно-дорожные машины и т.п.).

2. ФОЖ с фильтрующим элементом в виде сетки [6]. Встречаются довольно редко. В качестве примера можно привести такой фильтр для автобусов Scania.

3. Гидроциклонный фильтр-сепаратор (ГФС) [7], разработанный в ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ».

Первая группа ФОЖ, по сути, являются несколько модифицированными аналогами традиционных масляных фильтров. Они 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 антифриза. Следует отметить, что этот канал является байпасным, т.е. через него проходит (по информации производителей) только около 10% всего теплоносителя, подаваемого насосом. По нашим данным это количество жидкости не превышает 1%.

Такие фильтры обеспечивают улавливание частиц загрязнений с размером более 30...50 мкм с вероятностью 98% (по данным фирм-производителей). Межсменный срок службы подобных фильтров составляет 1 год (или 200 тыс. км пробега автомобиля, или 4000 часов его работы). Они рассчитаны на одноразовое применение, после чего должны утилизироваться.

Следует отметить, что такие ФОЖ по мере загрязнения в процессе эксплуатации увеличивают свое сопротивление при одновременном ухудшении улавливающей способности.

Вторая группа фильтров, в качестве фильтрующего элемента используют

металлическую сетку, с размером ячейки 300х300 мкм. Собственно, размером ячейки и определяется размер улавливающих частиц >300 мкм.

Преимуществами таких ФОЖ (по сравнению с первой группой) являются:

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

К недостаткам можно отнести:

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

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

К третьей группе относятся гидроциклонные фильтры-сепараторы, у которых отсутствуют недостатки фильтров первых двух групп. Конструкция такого ГФС представлена на рис. 1.

В этом гидроциклонном фильтре-сепараторе 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. 1б). Но 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.1). Кроме этого, ГФС имеет разборную конструкцию, что делает его более компактным и удобным при установке и эксплуатации.

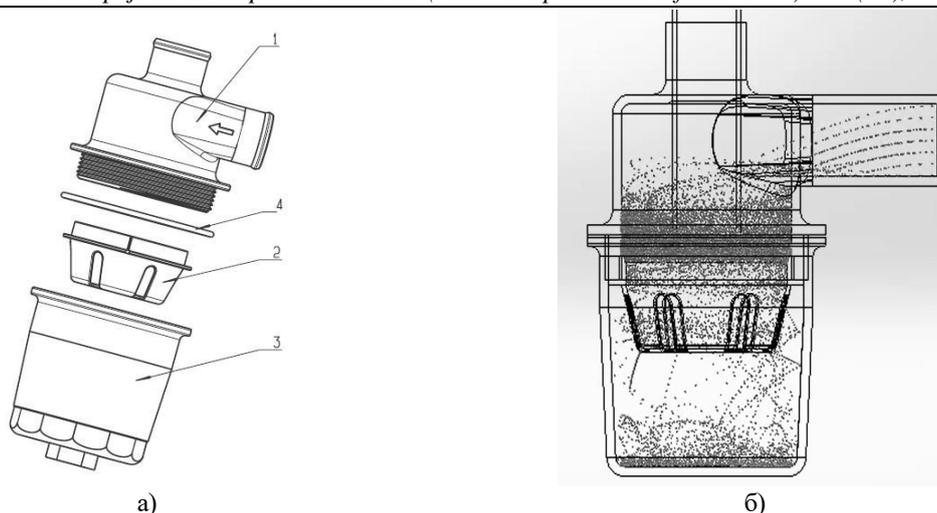


Рис. 1. Конструкция ГФС (а) и его принцип действия (б): 1 – закручивающий аппарат; 2 – конусная сепарирующая чашка с улавливающими отверстиями; 3 – отстойник; 4 – уплотнительное кольцо

Ранее подобный способ очистки антифризов в СЖО транспортных двигателей не применялся, поэтому прямых (принципиальных) аналогов данная разработка не имеет не только в России, но и за рубежом. Оригинальность технического решения, подтверждена патентом РФ на изобретение № 2 625 891 [7].

К 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, 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.

Из проведенного выше анализа можно сделать вывод, что созданный в ООО «НТЦ «АвтоСфера» при ВлГУ» гидроциклонный фильтр-сепаратор имеет наилучшие показатели среди известных устройств для очистки антифриза в СЖО.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В общем случае эффективность процесса любой природы определяется отношением: полученный результат/затраченные ресурсы. При этом и результат, и ресурсы должны быть одной категории (природы). Например, это могут быть энергетические, финансовые, материальные, временные показатели и др.

Для фильтров различного принципа действия и конструкций важнейшим параметром их эффективности является коэффициент фильтрации β . Этот параметр количественно оценивает эффективность улавливания загрязнений:

$$\beta = \frac{m_{\Pi}}{m_c} \quad (1)$$

где: m_c – масса частиц в контуре системы, г; m_{Π} – масса задержанных фильтром частиц, г.

Но данный показатель β не может в полной мере характеризовать эффективность фильтрации, т.к. остаются неизвестными затраченные ресурсы для обеспечения конкретного уровня (коэффициента) улавливания частиц загрязнений.

В качестве таких затраченных ресурсов может выступать количество энергии (потери давления на фильтре), необходимой для достижения данного коэффициента фильтрации.

Перепад давления между входом и выходом фильтра количественно оценивает величину гидравлических потерь:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v^2}{2} \quad (2)$$

где ΔP – перепад давления между входом и выходом ГФС, Па; ξ – коэффициент местного сопротивления; ρ – плотность ОЖ, кг/м³; v – скорость потока, м/с.

Поскольку принцип действия гидроциклонных фильтров-сепараторов основан на применении центробежных сил, то чем они больше, тем выше коэффициент фильтрации [8].

Величина центробежных сил $F_{ц}$ в значительной степени зависит от угловой скорости потока:

$$F_{ц} = m\omega^2 r \quad (3)$$

где: m – масса вращающегося тела, кг; r – расстояние от оси вращения до центра тяжести тела, м; ω – угловая скорость вращения, c^{-1} .

С другой стороны, с увеличением этой скорости возрастают гидравлические потери. Увеличение гидравлических потерь приводит к снижению расхода в контуре СЖО, что негативно влияет на интенсивность теплоотвода. Восстановить расход можно путем применения насоса с более высоким напором, но при этом на привод насоса придется затрачивать большую мощность.

Таким образом, при оценке эффективности ГФС нельзя руководствоваться только значением коэффициента фильтрации, поскольку он не отражает, при каких гидравлических потерях достигается данный результат. Для ГФС необходимо учитывать два фактора: коэффициент фильтрации и гидравлические потери.

До настоящего времени такой подход в теории фильтрации не использовался. Возможно, это связано с тем, что при применении традиционных фильтрующих элементов (пористые материалы, сетки и т.п.) о потерях давления в фильтре можно было говорить только по отношению к новым (неработавшим) фильтрам. По мере их загрязнения в процессе эксплуатации эти потери давления, естественно, существенно возрастают (вплоть до бесконечности) и делать какие-либо заключения об эффективности фильтрации с учетом затрат энергии просто невозможно.

Иная ситуация наблюдается при использовании гидроциклонных фильтров-сепараторов. Из-за особенностей принципов их функционирования гидравлическое сопротивление этих устройств (перепад давления между входом и выходом) остается неизменным в процессе работы при каждом конкретном расходе потока. Таким образом, появляется возможность реально определить эффективность фильтрации (сепарации) у гидроциклонных фильтров, используя показатели достигнутого результата (коэффициент фильтрации) и затраченных ресурсов (потери давления на фильтре).

Таким образом, для сравнительного анализа различных конструктивных исполнений ГФС необходим критерий, который одновременно оценивает/учитывает эти два параметра. При одинаковом коэффициенте фильтрации, более эффективным ГФС будет тот, у которого наименьшее сопротивление и, наоборот, при равном сопротивлении эффективнее тот у которого выше коэффициент фильтрации.

Цель статьи

Целью данной статьи является обоснование и опытно-теоретическая проверка нового интегрального критерия эффективности гидроциклонных фильтров-сепараторов, предназначенных для очистки автомобильных антифризов.

Изложение основного материала

Нами предлагается в качестве нового критерия оценки эффективности ГФС использовать отношение коэффициента фильтрации к гидравлическим потерям ΔP :

$$E = \frac{\beta}{\Delta P} \quad (4)$$

Если выразить гидравлические потери через коэффициент местного сопротивления:

$$\xi = \frac{2\Delta P}{\rho\omega^2} \quad (5)$$

то получим безразмерный критерий эффективности ГФС:

$$E = \frac{\beta}{\xi} \quad (6)$$

Используя данный, предлагаемый нами, безразмерный критерий можно сравнивать эффективность ГФС различных конструкций. При этом предлагаемый критерий учитывает одновременно способность фильтра к улавливанию твердых частиц загрязнений и гидравлические потери, создаваемые фильтром.

Следует отметить, что при сравнении различных конструкций ГФС с помощью предлагаемого критерия эффективности, необходимо обеспечить одинаковые условия работы ГФС. К таким условиям относятся: расход жидкости через фильтр, размер и плотность улавливаемых частиц. Эти условия связаны с тем, что гидроциклонные фильтры-сепараторы имеют одну особенность - при каждом конкретном расходе (скорости) потока улавливающая способность фильтра по отношению к частицам разных размеров будет различной.

Для определения влияния геометрических характеристик ГФС на гидравлические и сепарационные процессы были выбраны следующие параметры (рис. 2):

1. относительная длина выходного патрубка – отношение длины выходного патрубка к расстоянию от верхней стенки до нижней стенки конуса (рис. 2а);
2. угол конуса сепарирующей чашки (рис. 2б);
3. относительная площадь улавливающих окон сепарирующей чашки – отношение площади окон к площади образующей конуса (рис. 2в).

Первый параметр – относительная длина выходного патрубка - является схожим элементом в конструкциях разрабатываемого ГФС и классического гидроциклона. Влияние этого параметра на гидравлические и сепарационные процессы в традиционных гидроциклонах оценивалось многими исследователями [9], но их результаты часто противоречивы. Исходя из этого,

было принято решение провести собственные исследования влияния этого геометрического параметра на работу создаваемого ГФС.

Выбор в качестве параметров угла конуса и относительной площади улавливающих окон сепарирующей чашки обусловлен тем, что они

являются отличительной особенностью конструкции разрабатываемого ГФС по сравнению с традиционным гидроциклоном, соответственно исследованием их влияния на гидравлические и фильтрационные показатели ранее никто не занимался.

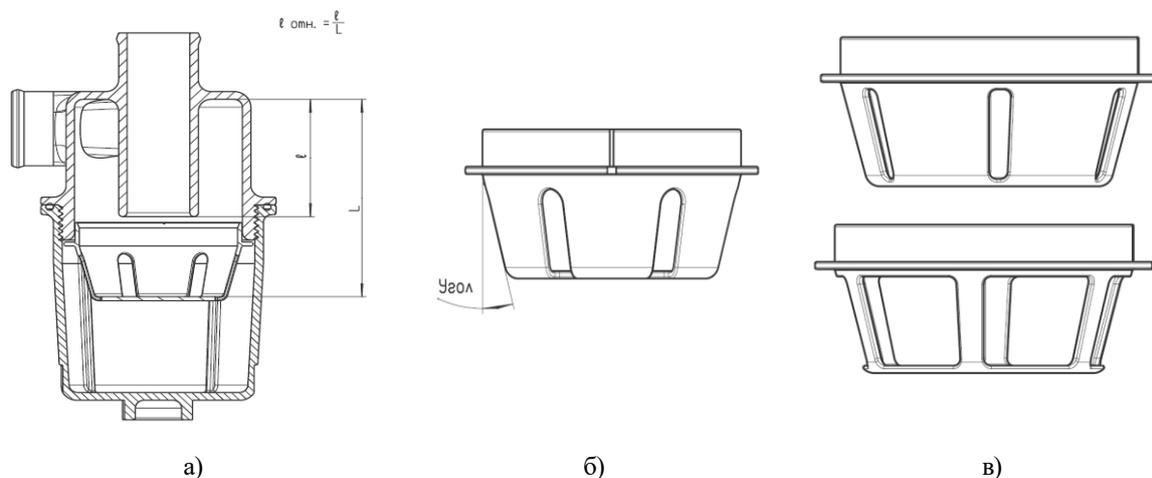


Рис. 2. Конструктивные параметры ГФС: а - относительная длина выходного патрубка; б - угол конуса сепарирующей чашки; в - относительная площадь улавливающих окон сепарирующей чашки (представлены примеры конструкции с крайними значениями)

Исследования ГФС проводили на комплексной лабораторной установке [10], которая позволяет определять коэффициент фильтрации и гидравлическое сопротивление различных вариантов конструкций фильтров.

При этом все конструкции ГФС исследовались при одинаковых режимных параметрах – при постоянном расходе жидкости, с использованием твердых частиц одинакового размера и одинаковой плотности.

По результатам проведенных исследований были получены зависимости перепада давления, коэффициента фильтрации и критерия

эффективности от выбранных геометрических параметров. Все зависимости представлены на рис.3-8.

Как следует из приведенных зависимостей (рис. 3), относительная длина выходного патрубка оказывает значительное влияние на коэффициент фильтрации и практически не оказывает влияния на гидравлическое сопротивление ГФС. Используя критерий эффективности, делаем обоснованный вывод о том, что максимальная эффективность ГФС достигается при значении относительной длины выходного патрубка в пределах 0,05...0,1 (рис. 4).

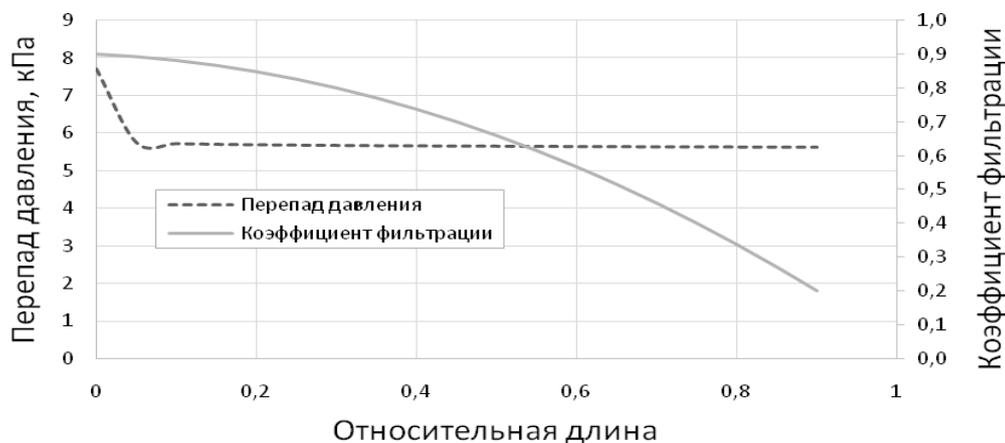


Рис. 3. Зависимость перепада давления и коэффициента фильтрации от относительной длины выходного патрубка

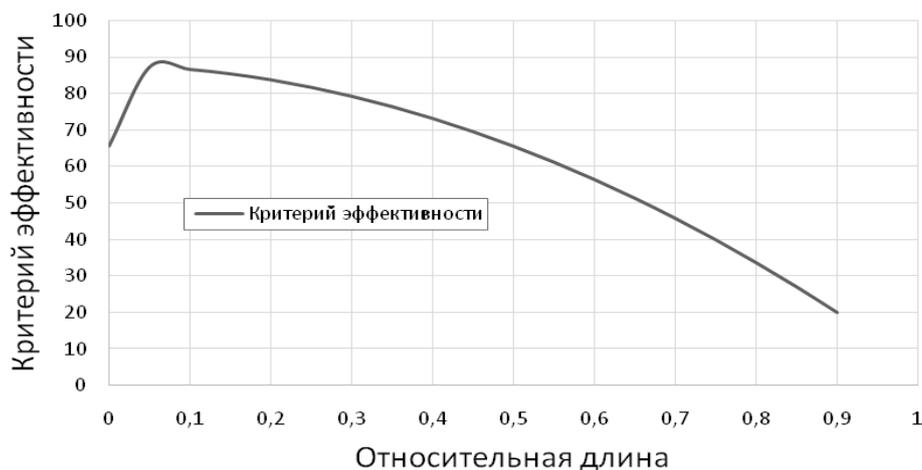


Рис. 4. Зависимость критерия эффективности от относительной длины выходного патрубка

Приведенные зависимости (рис. 5) показывают, что угол конуса сепарирующей чашки оказывает значительное влияние на оба показателя - и на коэффициент фильтрации, и на гидравлическое сопротивление. С помощью

критерия эффективности определяем, что максимальная эффективность ГФС достигается при значении угла конуса улавливающей чашки в пределах 20...25 градусов (рис. 6).

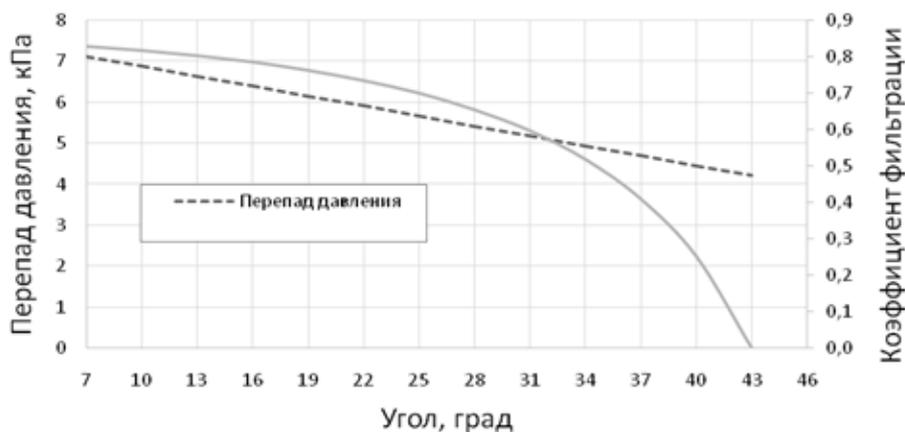


Рис. 5. Зависимость перепада давления и коэффициента фильтрации от угла конуса сепарирующей чашки

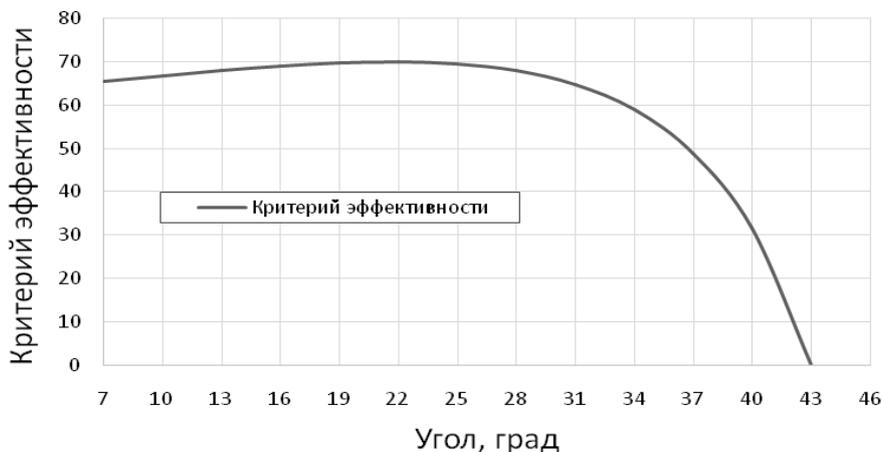


Рис. 6. Зависимость критерия эффективности от угла конуса сепарирующей чашки

Относительная площадь улавливающих окон сепарирующей чашки оказывает существенное влияние на коэффициент фильтрации и на

гидравлическое сопротивление ГФС (рис. 7). Используя предложенный критерий эффективности, делаем вывод о том, что

максимальная эффективность ГФС достигается при значении относительной площади улавливающих окон сепарирующей чашки в пределах 0,2...0,25 (рис. 8).

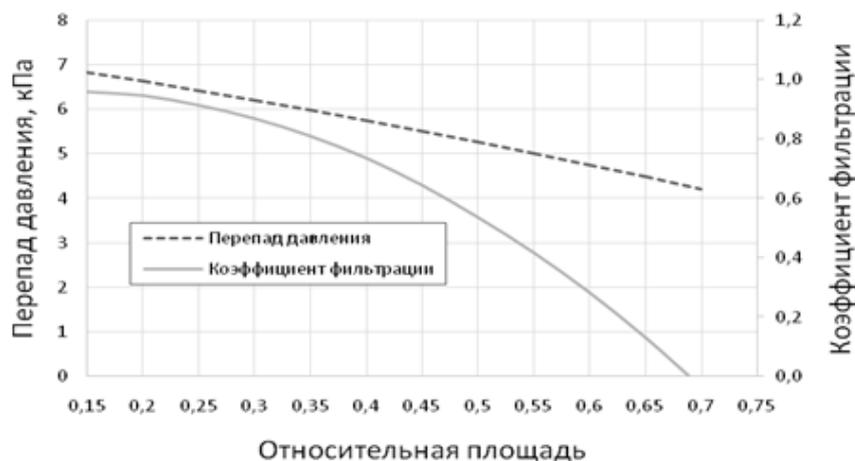


Рис. 7. Зависимость перепада давления и коэффициента фильтрации от относительной площади улавливающих окон сепарирующей чашки

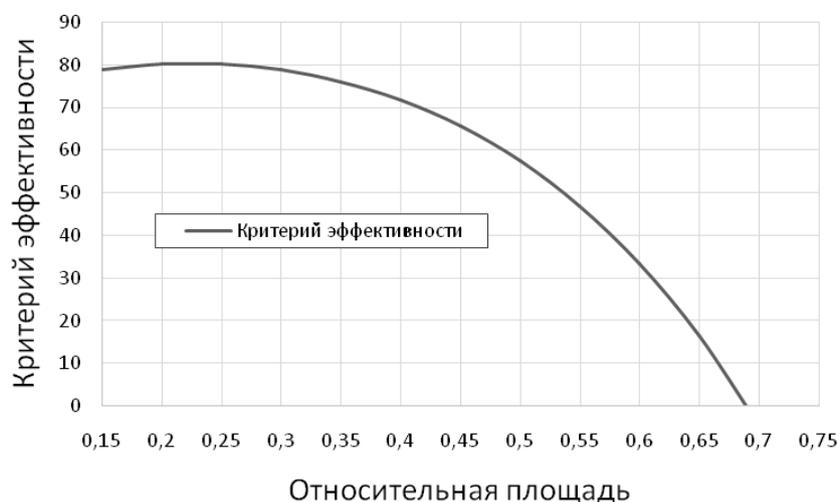


Рис. 8. Зависимость критерия эффективности от относительной площади улавливающих окон сепарирующей чашки

Выводы и предложения

1. Предложен новый интегральный критерий оценки эффективности гидроциклонных фильтров-сепараторов, связывающий показатели их улавливающей способности и гидравлического сопротивления. Новый критерий позволяет оптимизировать (сбалансировать) эти важнейшие рабочие показатели фильтра-сепаратора.

2. Использование нового критерия позволило при исследовании выявить влияние основных геометрических параметров гидроциклонного фильтра-сепаратора:

- относительной длины выходного патрубка;
- угла конуса сепарирующей чашки;
- относительной площади улавливающих окон сепарирующей чашки.

3. По результатам проведенного исследования с помощью нового критерия получены рациональные значения указанных конструктивных параметров, обеспечивающие максимальную эффективность гидроциклонного фильтра-сепаратора, предназначенного для

автомобильных антифризов. При этом достигнут рациональный баланс между гидравлическим сопротивлением фильтра-сепаратора и его улавливающей способностью.

Список литературы

1. Салахов Р. Р. Теплообмен в зарубашечном пространстве авиационного поршневого двигателя и разработка адаптивной системы охлаждения с целью улучшения его характеристик на режиме прогрева: дис. ... канд. тех. наук / Р. Р. Салахов. – Казань, 2015
2. Жуков В. А. Обеспечение надежности жидкостных систем охлаждения / В. А. Жуков // Вестник РГТАУ. – 2013. – №4. – С.156-160
3. Эреджепов М. К. Влияние качества охлаждающих жидкостей на ресурс автотракторных двигателей / М. К. Эреджепов, А. У. Абдулгасис // Ученые записки крымского инженерно-педагогического университета. – 2014. – №43. – С.38-44.

4. Eaton E.R., Duvnjak E. Examinatoins of Extended Life Heavy Duty Engine Coolant Filters. – SAE Techn. Pap. Ser. № 2004—1-0157. – 10 pp.

5. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирование /А. И. Якубович и др. – М.:ИНФРА-М, 2014. - 473 с.

6. Антропов Б. С. Защита радиаторов системы охлаждения двигателей от продуктов накипи и коррозии / Б. С. Антропов, В. А. Бодров, И. С. Басалов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2014. – №4. – С.82-84.

7. Патент РФ № 2 625 891, 19.07.2017. Драгомиров С.Г., Драгомиров М.С., Эйдель П.И., Гамаюнов А.Ю., Журавлев С.А., Селиванов Н.М. Гидроциклонное устройство для очистки от

твердых частиц загрязнений охлаждающей жидкости поршневых двигателей

8. Башаров М. М., Сергеев О.А. Устройство и расчет гидроциклонов /Под ред. А. Г. Лаптева. – Казань: Вестфалика, 2012. - 92 с.

9. Сабуров Э. Н., Карпов С. В. Циклонные устройства в деревообрабатывающем и целлюлозно-бумажном производстве. - М: Экология, 1993. - 368 с.

10. Эйдель П. И. Лабораторная установка для исследований фильтров охлаждающей жидкости поршневых двигателей /П. И.Эйдель,А. Ю. Гамаюнов, Н. М. Селиванов // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств. Материалы XVII Международной научно-практической конференции ВлГУ. – Владимир: ВлГУ, 2015. – С. 285-288.

Yeholnikov Olexander O.

a teacher is the

Mykolaiv College of a Transport Infrastructure of the V. Lazaryan Dnipro National University of Railway Transport

MAIN PRINCIPLES OF THE DECISION SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT OF THE DIAGNOSTIC AND MONITORING PROCESSES' MANAGEMENT OF THE RAIL AND WATERWAYS AUTOMATION

Єгольников Олександр Олександрович

викладач

Миколаївський коледж транспортної інфраструктури Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ДІАГНОСТУВАННЯ І МОНІТОРИНГУ ЗАСОБІВ АВТОМАТИКИ ДЛЯ МЕРЕЖ ЗАЛІЗНИЧНО-ВОДНОГО СПОЛУЧЕННЯ

Abstract. The basic principles of the decision support system development of the diagnostic and monitoring processes' management for the rail and water networks of the south Ukraine have been analyzed and determined. Using the Petri-simulation methods, the system of organization of the servicing railway automation facilities technologist's automated workplace in the port has been investigated. Functional tasks of the technical diagnostics and monitoring system have been formulated. A model of decision support system has been proposed. The development need of cognitive model has been identified.

Анотація. Проаналізовано та визначено основні принципи розробки системи підтримки прийняття рішень управління процесами діагностування і моніторингу засобів автоматки для мереж залізнично-водного сполучення півдня України. За допомогою методів Петрі-моделювання досліджено систему організації на автоматизованому робочому місці технолога з обслуговування засобів залізничної автоматки в порту. Сформульовано функціональні завдання системи технічного діагностування і моніторингу. Запропоновано модель системи підтримки прийняття рішень. Визначено необхідність розробки когнітивної моделі.

Keywords: rail and water networks, decision support system, information system, railway automation devices, technical diagnostics and monitoring system.

Ключові слова: мережі залізнично-водного сполучення, система підтримки прийнятті рішень, інформаційна система, пристрої залізничної автоматки, система технічного діагностування і моніторингу.

Постановка проблеми.

Вирішення проблеми обробки вантажів у морських та річкових портах України пов'язано з налагодженням роботи припортових залізничних станцій, більшість з яких побудовано ще наприкінці минулого століття, коли їх функціонування було

орієнтовано виключно на переробку імпорту, який на той час перевищував експорт. Відтепер ситуація щодо вантажообігу змінилася кореним чином з переробки імпорту на експорт, що найбільш наглядно показано на прикладі роботи портів Іллічівськ, Южний, Рені, а також Миколаївського