

Г.А. Гурьянов

Восточно-Казахстанский государственный технический университет
им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан

НОВЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ОЧИСТИТЕЛЬ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОПРИВОДА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ

Предлагается способ повышения долговечности гидросистем машин путем дополнительной установки очистителя в нагнетательной магистрали. Для этого представлена защищенная патентом новая конструкция комбинированного очистителя. Приведены результаты исследований новой конструкции очистителя и результаты теоретической оценки повышения эффективности очистки при дополнительном действии электростатической силы.

Ключевые слова: долговечность, надежность, гидросистема, гидропривод, рабочая жидкость, очистка, центрифуга.

Надежность гидравлических систем прямо пропорциональна степени загрязненности рабочих жидкостей, которая в условиях эксплуатации остается все еще невысокой, не отвечающей жестким требованиям, предъявляемым современным уровнем развития техники.

Данная работа направлена на решение проблемы повышения долговечности парка строительной техники на основе того, что одним из резервов этого повышения является увеличение долговечности агрегатов гидросистем и сроков службы масел и рабочих жидкостей. Добиться этого можно за счет совершенствования системы очистки рабочих жидкостей гидросистем в процессе эксплуатации машин.

Одной из проблем при работе гидросистем современных строительных машин является наличие у гидроагрегатов прецизионных пар трения с зазорами порядка 5–15 мкм. Поскольку основное влияние на снижение ресурса гидроагрегатов оказывают частицы размерами, соизмеримыми с зазорами в парах трения, рабочие жидкости в системах должны быть весьма чистыми, тогда как наличие в них механических загрязнений приводит к быстрому изнашиванию гидрооборудования, преждевременной забивке фильтров, а в отдельных случаях – к нештатным ситуациям. Требуемая тонкость очистки рабочей жидкости должна быть не ниже 5–10 мкм.

Другой проблемой является то, что на стенках трубопроводов гидросистем накапливаются и удерживаются вандерваальсовыми и адгезионными силами частицы размерами в основном 1–30 мкм, которые имеют возможность стохастической генерации в поток при воздействии некоторых эксплуатационных факторов, таких как вибрации, гидроудары, перегрузки. Наличие же таких частиц в системе отбрасывает класс чистоты жидкости по ГОСТ 17216–2001 к уровню 15–17-го и ниже, что значительно снижает долговечность и надежность функционирования гидросистем и машин в целом.

Пробы масла, взятые из гидросистем экскаваторов, показывают, что в рабочей жидкости, даже при отсутствии эксплуатационной наработки машин, находятся частицы, значительно превышающие по размерам (до 50 мкм) регламентируемую тонкость очистки [1]. За последнее время сменилось несколько поколений фильтров и средств их обслуживания, однако проблема обеспечения чистоты рабочих жидкостей актуальна и сегодня, а выбор методов обеспечения чистоты по-прежнему зависит от большого цикла действующих эксплуатационных и технологических факторов. Анализ применения существующих методов и устройств очистки показывает, что ни одно из них не может в полной мере обеспечить эффективную очистку во всем диапазоне эксплуатационных факторов, а значит, и заданную степень надежного функционирования машины в целом [2].

Возникшее техническое противоречие между возможностями существующих методов, способов и средств очистки и все возрастающими требованиями к уровню чистоты, а значит, и надежности функционирования гидросистем устраняется переходом на принципиально иную технологию очистки – технологию удаления частиц твердой дисперсной фазы из потока жидкости с помощью комбинированного воздействия силовых полей. Одним из перспективных направлений здесь является применение комбинированного воздействия на частицу центробежного и электростатического полей. Перспективность применения этого метода очистки обусловлена, например, таким явлением, как коагуляция частиц загрязнений в баке, что объясняется наличием на их поверхности значительного избыточного заряда. Следовательно, такие частицы смогут легко притягиваться к электроду с противоположным знаком заряда, что будет увеличивать осаждающую силу в целом, а следовательно, будет повышать эффективность очистки.

Комбинированные устройства, в которых применяется такой метод очистки, характеризуются по сравнению с традиционными фильтрами рядом неоспоримых, существенных преимуществ: потенциальной возможностью обеспечения 7–10-го класса чистоты по ГОСТ 17216–2001, малым гидравлическим сопротивлением, возможностью работать при больших расходах жидкости, малой себестоимостью процесса очистки.

Еще одним вопросом, влияющим на эффективность очистки рабочих жидкостей и требующим решения, является определение места установки очистителя в гидросистеме. В настоящее время основной схемой установки очистителя является установка на сливе. Таким образом, очистительное устройство вступает в работу уже после того, как частицы загрязнений из бака попадают в пары трения и способствуют их износу, что противоречит самому смыслу применения очистки и снижает ее эффективность. Поэтому более эффективным было бы дополнить очистку на сливе установкой очистителя также и на нагнетательной магистрали, после насоса, тогда в гидросистему поступала бы уже очищенная жидкость, которая, собрав продукты износа и загрязнения из гидросистемы, также очищалась бы и на сливе. Однако установке очистителя на нагнетательной магистрали после насоса препятствуют:

- для фильтра – плохая работа фильтрующего элемента под давлением и высокое гидравлическое сопротивление, существенно зависящее от тонкости очистки;

- для центробежного очистителя (с преимущественно применяемым реактивным приводом) – высокое гидравлическое сопротивление реактивного привода и большая скорость потока, вследствие чего очиститель не будет успевать выделять из жидкости потребное количество частиц за то время, которое она будет находиться в его роторе.

Таким образом, для изменения позиционирования очистителя, т.е., например, для дополнительной его установки на нагнетательной магистрали, необходимо в первую очередь снизить гидравлическое сопротивление очистителя, что для фильтров является весьма затруднительным и может быть достигнуто только за счет увеличения размеров фильтра и (или) значительного снижения тонкости фильтрации. В то время как для центробежного очистителя гидравлическое сопротивление может быть снижено за счет отказа от реактивного привода, например путем замены привода на принудительный, что усложнит кон-

струкцию, либо за счет применения активного (турбинного) привода и разделения проходящего через очиститель потока жидкости на два – очищаемый и приводной. А проблема эффективного выделения из жидкости частиц при большой скорости потока может быть решена за счет применения комбинированной силовой очистки, например за счет комбинации центробежного и электростатического полей, что увеличивает выделяющую силу, действующую на частицы, и повысит, таким образом, скорость выделения частиц, т.е. малое время нахождения очищаемой жидкости в очистителе будет компенсировано малым временем их осаждения (выделения).

На основе результатов проведенных исследований электростатической и центробежной очистки в ВКГТУ им. Д. Серикбаева был спроектирован, изготовлен и запатентован комбинированный электроцентробежный очиститель рабочих жидкостей с активным приводом [3], в значительной степени соответствующий предъявляемым требованиям (рис. 1).

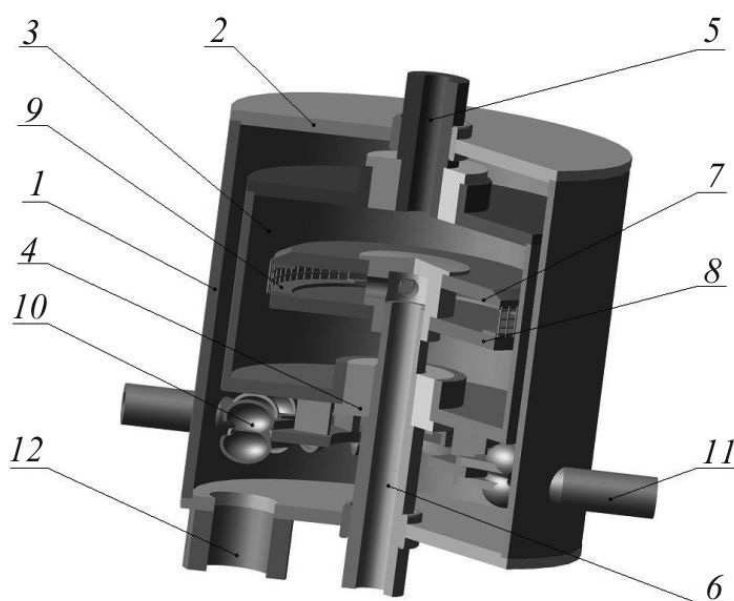


Рис. 1. Электроцентробежный очиститель жидкости: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – ротор; 4 – подшипники; 5 – верхняя ось; 6 – нижняя ось; 7 – верхний диск; 8 – нижний диск; 9 – сетчатый электрод; 10 – ковши; 11 – форсунки; 12 – сливной патрубок

Очиститель позволяет обеспечить требуемую тонкость очистки за счет сонаправленного действия электростатических и центробежных сил в зоне выделения частиц, а основной очищаемый и приводной по-

ток в данной конструкции разделены. Это позволяет устанавливать данный очиститель как по классической схеме – на сливной магистрали, так и дополнительно – на нагнетательной магистрали.

Для определения и уточнения основных параметров комбинированного очистителя, выявления влияния дополнительной электростатической силы на эффективность очистки и анализа совместного действия центробежной и электростатической сил были проведены экспериментальные исследования комбинированного электроцентробежного очистителя. Цель исследований заключается в проверке работоспособности комбинированного очистителя, определении показателей эффективности его работы. Исследуемый очиститель отличался от описанной выше конструкции реактивным приводом и, соответственно, отсутствием деления потока на очищаемый и приводной. С одной стороны, это позволяет оценить эффективность комбинированного силового поля и сравнить работу комбинированного очистителя с работой ранее разработанного авторами чисто центробежного очистителя с реактивным приводом, имеющего близкие размеры и параметры работы (в частности, частоту вращения), но, к сожалению, вследствие разности приводов не позволяет судить о работе нового очистителя в целом, поэтому ограничимся только исследованием работы комбинированного силового поля.

Эксперименты проводились на стенде для исследования центрифуг на гидравлическом масле. Искусственными загрязнителями были электрокорунд белый, металлические опилки и кварцевый песок. Весовая концентрация загрязнений не превышала 0,1 % при крупности частиц 0–200 мкм. В общем случае, пропуская рабочую жидкость через очиститель, меняли один параметр и, отбирая пробы после центрифуги, определяли другой параметр, получая графические зависимости.

Для определения количества выделяемого осадка при увеличении осаждающей силы в комбинированном очистителе загрязненная рабочая жидкость пропусклась через очиститель 4 раза. После этого очиститель разбирался, осадок извлекался и взвешивался на лабораторных весах. Затем, приняв вес осадка, выделенного в центробежном очистителе (без электростатической силы), за 100 %, нашли отношение к нему веса осадка, выделенного в комбинированном очистителе (с дополнительной электростатической силой), которое было равно 1,18, т.е. при дополнительном действии электростатической силы было выделе-

но на 18 % больше загрязнений, т.е. эффективность комбинированной очистки на 18 % выше чисто центробежной.

Для определения производительности очистителя, т.е. расхода жидкости через ротор с требуемой тонкостью очистки, меняли расход загрязненной жидкости через очиститель и, постоянно отбирая пробы после центрифуги, определяли наибольший диаметр частиц загрязнения в рабочей жидкости для каждого значения расхода. Полученные результаты представлены на рис. 2.

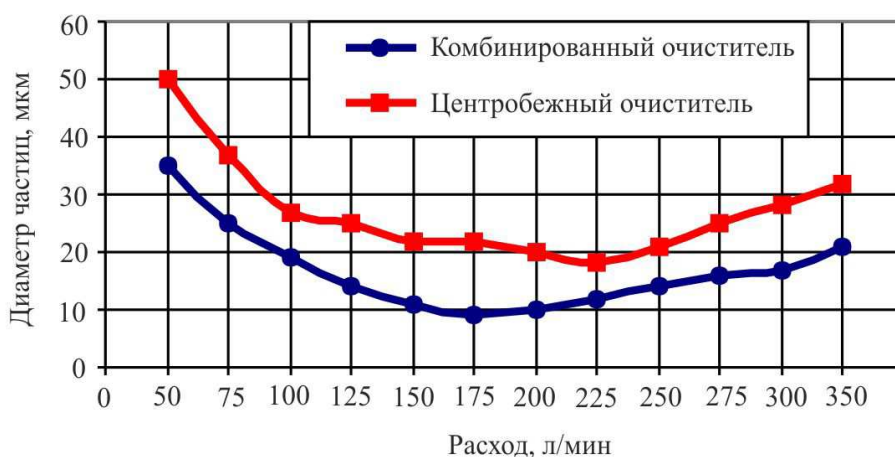


Рис. 2. Влияние расхода рабочей жидкости на тонкость очистки

Из графиков видно, что центрифуга не улавливает твердые частицы размером 10 мкм и менее при расходе до 150 л/мин и после 225 л/мин. Диаметр выделяемых частиц при увеличении расхода от 0 до 225 л/мин уменьшается, так как на этом участке происходит интенсивное нарастание частоты вращения ротора, т.е. центробежной силы. При расходе более 225 л/мин частота вращения ротора стабилизируется, а расход растет, поэтому размер частиц загрязнений снова возрастает. Таким образом, центрифуга обеспечивает требуемую тонкость очистки при расходе жидкости от 150 до 250 л/мин.

Важным показателем работы центрифуги является коэффициент очистки. Пропускали загрязненную жидкость через очиститель три раза при определенном расходе, затем отбирали пробу жидкости после центрифугирования и определяли весовое содержание загрязнений. После этого, изменив расход, проделывали ту же процедуру. Полученные результаты представлены на рис. 3. Из графиков видно, что очиститель показывает достаточно высокий коэффициент очистки при расходе от 150 до 250 л/мин.

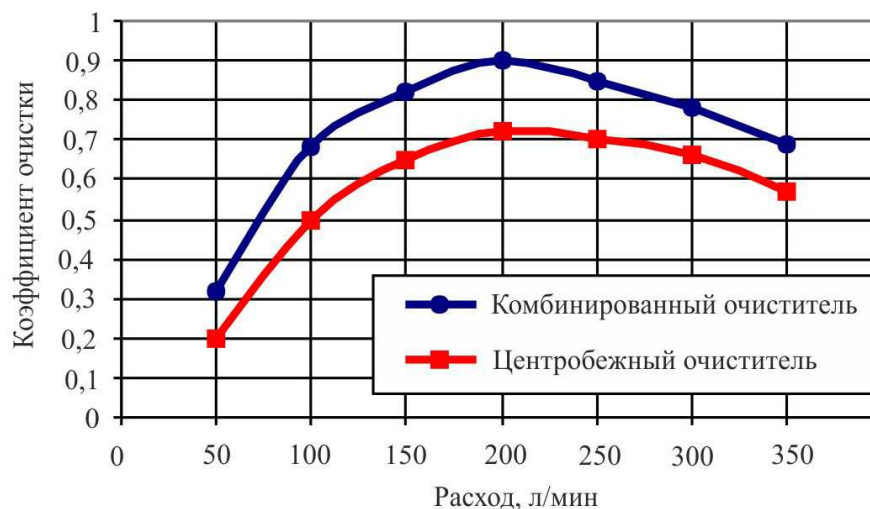


Рис. 3. Влияние расхода рабочей жидкости на коэффициент очистки

Чтобы определить влияние расхода на концентрацию загрязнений в обработанной жидкости, т.е. на способность очистителя удерживать осадок в роторе, предварительно в ротор центрифуги был осажден слой загрязнителя. Затем в центрифугу подавали очищенную жидкость из бака, постепенно увеличивая расход и одновременно отбирая пробы. После обработки проб был построен график зависимости отношения весовых концентраций загрязнений в жидкости, подаваемой в очиститель ($K_B^И$), и в жидкости, обработанной в очистителе ($K_B^О$), от расхода (рис. 4). При низком расходе и, соответственно, частоте вращения ротора происходит интенсивный унос частиц загрязнений размером 5–20 мкм. С увеличением расхода возрастает центробежная сила, и очиститель начинает удерживать частицы загрязнений на стенках, поэтому отношение концентраций возрастает и приближается к единице, кроме того, большинство мелких частиц было унесено из ротора в начале эксперимента. Далее центробежная сила стабилизируется, частицы вновь начинают выноситься из ротора и отношение концентраций снова падает. Наилучшие значения отношения концентраций имеет при расходе от 150 до 250 л/мин.

Для определения грязеемкости центрифуги стенд настраивался на непрерывную работу в замкнутом цикле. Через каждые 25 ч работы очистителя загрязненность рабочей жидкости восстанавливалась. Через каждые 3 ч работы очистителя отбирались пробы очищенной жидкости, обработка которых позволила построить зависимость загрязненности жидкости, обработанной в центрифуге, от времени ее работы

(рис. 5). K_0^H и K_B^H – соответственно отношение объемных концентраций загрязнений в рабочей жидкости после центрифуги и до центрифуги. Из графика видно, что при интенсивном поступлении загрязнений через 51 ч работы не наблюдается сколько-нибудь заметного их уноса из очистителя. В реальных условиях эксплуатации интенсивность поступления загрязнений в 45–50 раз ниже. Поэтому естественно будет предположить, что очиститель сможет эффективно работать в течение 2000 ч без очистки ротора от осадка.

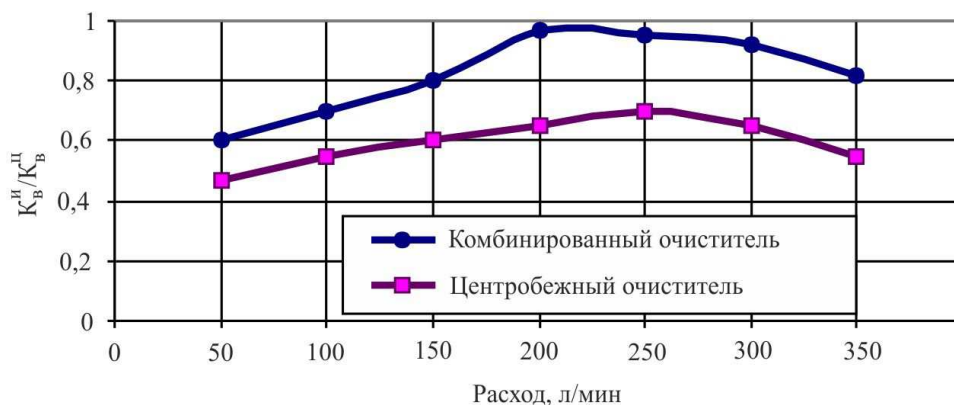


Рис. 4. Влияние расхода рабочей жидкости на способность очистителя удерживать осадок в роторе

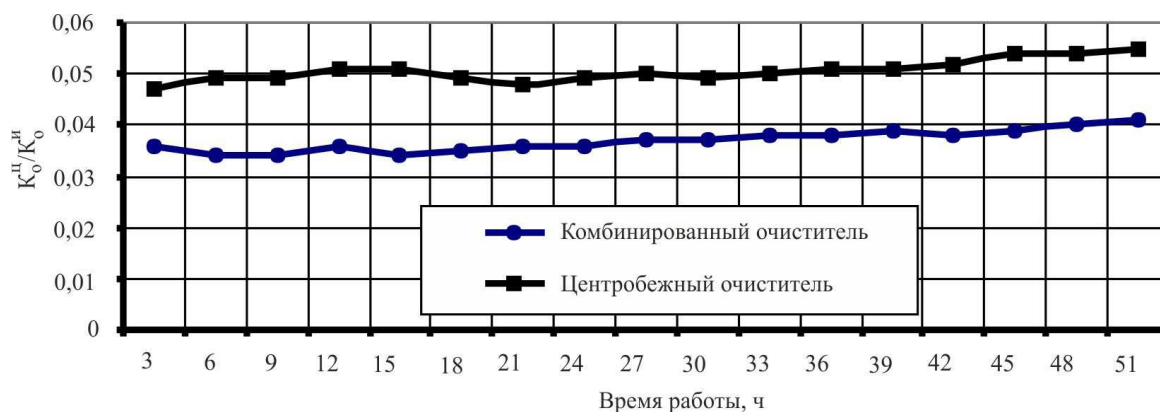


Рис. 5. Зависимость загрязненности жидкости, обработанной в центрифуге, от времени ее работы

Для изучения интенсивности выделения частиц загрязнений из рабочей жидкости определим, как изменяется весовая концентрация загрязнений в рабочей жидкости от числа ее проходов через очиститель. В рабочую жидкость засыпали загрязнитель. Включали стенд и после каждых двух проходов рабочей жидкости через очиститель брали пробы и определяли весовую концентрацию загрязнений в жид-

кости. Эксперименты проводились до тех пор, пока значение концентрации не стабилизировалось. Результаты экспериментов представлены на рис. 6. Из графика видно, что весовая концентрация загрязнений в рабочей жидкости достигает нормального значения (0,005 % по весу) после 2–3 проходов жидкости через очиститель, что лучше, чем у обычной центрифуги, которая очищает жидкость за 3–4 прохода.

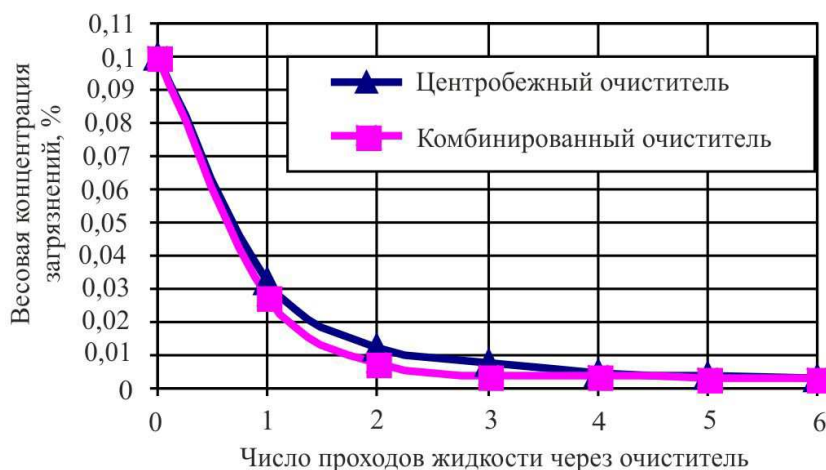


Рис. 6. Интенсивность выделения загрязнений из рабочей жидкости

Можно заметить, что во всех экспериментах результаты, достигаемые в комбинированном очистителе, оказываются выше, чем в обычном центробежном очистителе, при сохранении практически одинаковой общей картины изменения исследуемого параметра. Это объясняется тем, что исследуемые параметры в основном зависят от осаждающей силы, которая у комбинированного очистителя больше на постоянную величину, равную электростатической составляющей.

Результаты проведенных исследований показали, что разработанный комбинированный очиститель обладает высокой эффективностью работы по всем показателям, причем значения этих показателей выше, чем у обычного центробежного очистителя. При этом наибольшая эффективность достигается при расходе жидкости от 150 до 250 л/мин, что близко к реальному диапазону изменения расхода в гидросистемах строительных машин.

При теоретическом описании процессов, происходящих в комбинированном очистителе, можно успешно использовать модели течения вязкой жидкости в осевом зазоре между вращающимся диском и неподвижной стенкой. Аналитический расчет нелинейной системы диф-

ференциальных уравнений движения и численный анализ результатов проведены на ЭВМ с использованием ПО MathCAD с получением зависимостей для определения основных характеристик процесса: траекторий и скоростей движения твердой частицы, а также с прогнозированием эффективности очистки твердых частиц в очистителе на основе сравнения центрифугирования частиц загрязнений при воздействии электростатического поля и без него. Была рассчитана вероятность осаждения различных групп частиц загрязнений в комбинированном очистителе (в процентах), представленная в таблице, из которой видно, что сравнительная эффективность осаждения частиц загрязнений при воздействии электростатического поля в среднем может быть увеличена на 15–20 %, что соответствует приведенным выше результатам экспериментов.

Сравнительная эффективность комбинированной очистки

Размерные группы частиц	Вероятность осаждения частиц, %				Сравнительная эффективность			Среднее значение, %
	без поля $U = 0$	с электростатическим полем			0,5 кВ	1,0 кВ	1,5 кВ	
		0,5 кВ	1,0 кВ	1,5 кВ				
До 10 мкм	1	14	21	27	13	20	26	20,0
До 50 мкм	35	46	50	56	11	15	21	15,5
До 100 мкм	75	78	82	88	3	7	13	7,6
Свыше 100 мкм	100	100	100	100	0	0	0	0

В заключение сделаем следующие выводы:

1. В рабочей жидкости находятся частицы, значительно превышающие по размерам регламентируемую тонкость очистки при требуемой тонкости не ниже 5–10 мкм, поэтому одним из резервов повышения долговечности гидросистем является совершенствование системы очистки рабочих жидкостей в процессе эксплуатации машин.

2. Существующие методы и устройства очистки не могут в полной мере обеспечить эффективную очистку во всем диапазоне эксплуатационных факторов, а значит, и надежное функционирование машины в целом.

3. Повысить эффективность очистки можно переходом на технологию удаления частиц твердой дисперсной фазы из потока жидкости с помощью комбинированного воздействия силовых полей, например центробежного и электростатического, а также установкой

очистителя как на сливной, так и на нагнетательной магистрали гидросистемы.

4. В ВКГТУ им. Д. Серикбаева был разработан, изготовлен и запатентован комбинированный электроцентробежный очиститель рабочих жидкостей, позволяющий обеспечить требуемую тонкость очистки за счет сонаправленного действия электростатических и центробежных сил.

5. Проведенная экспериментальная проверка комбинированного очистителя показала, что он обладает высокой эффективностью работы по всем показателям, причем значения этих показателей выше, чем у обычного центробежного очистителя. Предполагаемая сравнительная эффективность осаждения частиц загрязнений при воздействии электростатического поля может быть увеличена до 15–20 %.

Список литературы

1. Гурьянов Г.А., Дудкин М.В. Основы процесса поддержания качества и аппараты тонкослойной центробежной очистки рабочих жидкостей и масел / Вост.-Казахстан. гос. техн. ун-т. – Усть-Каменогорск, 2005. – 192 с.

2. Захаров А.И. Разработка объемных фильтров для строительно-дорожных машин: дис. ... канд. техн. наук / Томск. гос. техн. ун-т. – Томск, 1996. – 143 с.

3. Гурьянов Г.А., Беляев Д.Л. Электроцентробежный очиститель жидкости. Предварительный патент РК №24295, бюл. №7, 15.07.2011 г.

Получено 5.03.2013

G.A. Guryanov

NEW COMBINATION CLEANER WORKING HYDRAULIC FLUID AND STUDY OF ITS EFFECTIVENESS

In work propose a method of increasing the durability of hydraulic machines by additional installation of a cleaner in the discharge line. Proposed for this patented new design combined cleaner. The results of studies of a new design of cleaner, and the results of theoretical evaluation of cleaning efficiency with the additional effect of the electrostatic force.

Keywords: durability, reliability, hydraulic system, hydraulic drive, hydraulic fluid, cleaning, centrifuge.

Гурьянов Георгий Александрович (Усть-Каменогорск, Казахстан) – кандидат технических наук, доцент Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева, член-корреспондент МАИИ (070004, г. Усть-Каменогорск, ул. Тохтарова, 78-7, e-mail: gguruanov@mail.ru).

Guryanov Georgiy Aleksandrovich (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, East Kazakhstan State Technical University named after D. Serikbaev (78-7, Tokhtarov st., Ust-Kamenogorsk, 070004, Kazakhstan, e-mail: gguruanov@mail.ru).