

## Обоснование эффективности применения центрифуг для очистки гидравлических масел

Н.Г. Плеханов<sup>а</sup>, В.С. Федоров<sup>б</sup>

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>а</sup> plehanovng@yandex.ru, <sup>б</sup> fedorov-v-s@yandex.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0004-2629-6249>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5507-307X>

Статья поступила 16.09.2024, принята 12.10.2024

*В статье рассмотрен процесс очистки гидравлических масел в роторе многокамерных центрифуг. Описываются требования, предъявляемые к маслу, очищенному путем центрифугирования. Приводятся параметры центрифуги для достижения наилучших результатов очистки. Ключевыми факторами, способствующими загрязнению гидравлических масел в гидравлических системах строительно-дорожных машин, являются износ комплектующих гидрооборудования, несоблюдение стандартов заправочных операций, а также недостаточная чистота систем при проведении ремонтных работ и прочие обстоятельства. Однако часть этих проблем может быть решена благодаря грамотной организации обслуживания гидроприводов и внедрению очистительных установок на различных стадиях их эксплуатации. На основании изложенного материала делается вывод о наиболее эффективной конструкции для применения в составе маслоочистительной установки. Произведенный анализ конструкций центрифуг, отличающихся между собой по различным типам привода и конструкциям роторов, позволяет сделать вывод о том, что данные центрифуги могут быть эффективно использованы для удаления механических примесей из моторных масел до требуемого качества чистоты. Кроме того, состав загрязнений моторных масел позволяет образовывать на стенках центрифуг связанный слой загрязнений, который удерживается от выноса при их накоплении и может быть удален при техническом обслуживании центрифуги. Состав загрязняющих частиц загрязнений, образующихся в гидравлических маслах, не содержит веществ, образующих связанный слой, что приводит к выносу частиц загрязнений при работе центрифуги. Кроме того, требования к чистоте гидравлических масел выше, чем для моторных масел, поэтому в гидросистемах машин с большей эффективностью обоснованно используются фильтры, а центробежные очистительные устройства используются лишь в некоторых случаях при техническом обслуживании.*

**Ключевые слова:** гидравлическое масло; механические примеси; центробежная очистка; эффективность центрифугирования.

## Justification of the effectiveness of the use of centrifuges for cleaning hydraulic oils

N.G. Plekhanov<sup>а</sup>, V.S. Fedorov<sup>б</sup>

Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>а</sup> plehanovng@yandex.ru, <sup>б</sup> fedorov-v-s@yandex.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0009-0004-2629-6249>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5507-307X>

Received 16.09.2024, accepted 12.10.2024

*The article studies the process of cleaning hydraulic oils in the rotor of multi-chamber centrifuges. The requirements for oil purified by centrifugation are described. The parameters of the centrifuge are given to achieve the best cleaning results. The key factors contributing to the contamination of hydraulic oils in the hydraulic systems of road construction machines are wear of hydraulic equipment components, non-compliance with standards for refueling operations, as well as insufficient cleanliness of the systems during repair work and other circumstances. However, some of these problems can be solved thanks to the competent organization of maintenance of hydraulic drives and the introduction of cleaning plants at various stages of their operation. Based on the material presented, a conclusion is drawn about the most effective design for use as part of an oil purification plant. The analysis of centrifuge designs, which differ in different drive types and rotor designs, allows us to conclude that these centrifuges can be effectively used to remove mechanical impurities from motor oils to the required purity quality. In addition, the composition of motor oil contaminants allows the formation of a connected layer of contaminants on the walls of centrifuges, which is kept from being carried away when they accumulate and can be removed during centrifuge maintenance. The composition of contaminant particles formed in hydraulic oils does not contain substances that form a bound layer, which leads to the removal of contaminant particles during centrifuge operation. In addition, the requirements for the purity of hydraulic oils are higher than for motor oils, therefore, in the hydraulic systems of machines with greater efficiency, filters are justifiably used, and centrifugal cleaning devices are used only in some cases during maintenance.*

**Keywords:** hydraulic oil; mechanical impurities; centrifugal cleaning; centrifugation efficiency.

**Введение.** Качество рабочей жидкости играет важную роль в обеспечении надежности гидравлических систем. Со временем уровень загрязнения жидкости увеличивается из-за износа компонентов механических систем, что ускоряет износ деталей машин и может привести к частым поломкам. Повреждения элементов пар трения вызывают серьезные финансовые затраты на ремонт или замену деталей, а также на длительные простои оборудования.

Необходимость оптимизации способов обеспечения и восстановления чистоты гидравлических масел, а также усовершенствования организационно-технических мероприятий делает данное исследование актуальным.

В соответствии с требованиями ГОСТ 6370-83, уровень механических примесей в рабочих жидкостях не должен превышать 0,005 % от общего объема, что соответствует 9 классу чистоты. Рекомендуемый диапазон номинальной тонкости фильтрации для гидравлического оборудования составляет от 10 до 63 мкм.

Основные причины загрязнения гидравлических масел заключаются в износе элементов гидросистем, неправильной заправке, недостаточной чистоте при ремонте и других факторах. Решение данных проблем возможно через организацию эффективного технического обслуживания и применение очистительных устройств на всех этапах работы [5].

На сегодняшний день существуют три основных способа очистки рабочей жидкости в гидросистемах: фильтрация, центрифугирование и осаждение. Каждый из них имеет свои плюсы и минусы как в плане эффективности очистки, так и в плане затрат времени и денег. Обычно эти методы используются в комбинации.

Фильтры эффективно обеспечивают защиту гидросистем на этапах технического обслуживания и дозаправки, поддерживая высокий уровень чистоты масел на 9 классе. Однако их стоимость относительно высока.

Масляные центрифуги, используемые в обслуживании машин, обеспечивают чистоту масел на уровне 12–14 классов и идеально подходят для предварительной очистки, тогда как отстойники — самые недорогие способы, используемые для хранения масел, обеспечивающие чистоту гидравлических масел по 9 классу [2].

Существующие центрифуги не способны достичь необходимого уровня чистоты гидравлических масел (класс 9), поэтому необходимо их модернизировать. Основные критерии улучшения работы масляных центрифуг включают:

- сокращение измерения дистанции, на которую могут распространиться загрязняющие частицы;
- увеличение продолжительности пребывания загрязнений в зоне воздействия центробежных сил;
- эффективное рассеивание потока;
- поддержание увеличения энергии вращения ротора путем рекуперации кинетической энергии;

- исключение вихревого движения жидкости, которая проходит процесс очистки;
- снижение шансов на вынос частиц, находящихся в осадке;
- сохранение показателей работы центрифуги в процессе накопления загрязнений;
- снижение вероятности выноса осажденных частиц загрязнений;
- уменьшение нагрузки, которая действует на опорные подшипники;
- уменьшение потерь, вызванных трением в подшипниках и сопротивлением воздуха для ротора.

На рис. 1 представлена схема, отражающая различные типы приводов, применяемых в масляных центрифугах.

Основным фактором, определяющим эффективность процесса модернизации существующих моделей масляных центрифуг, является принятие правильного решения при выборе типа ротора центрифуги (рис. 2).

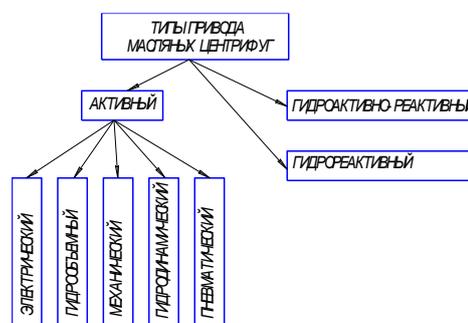
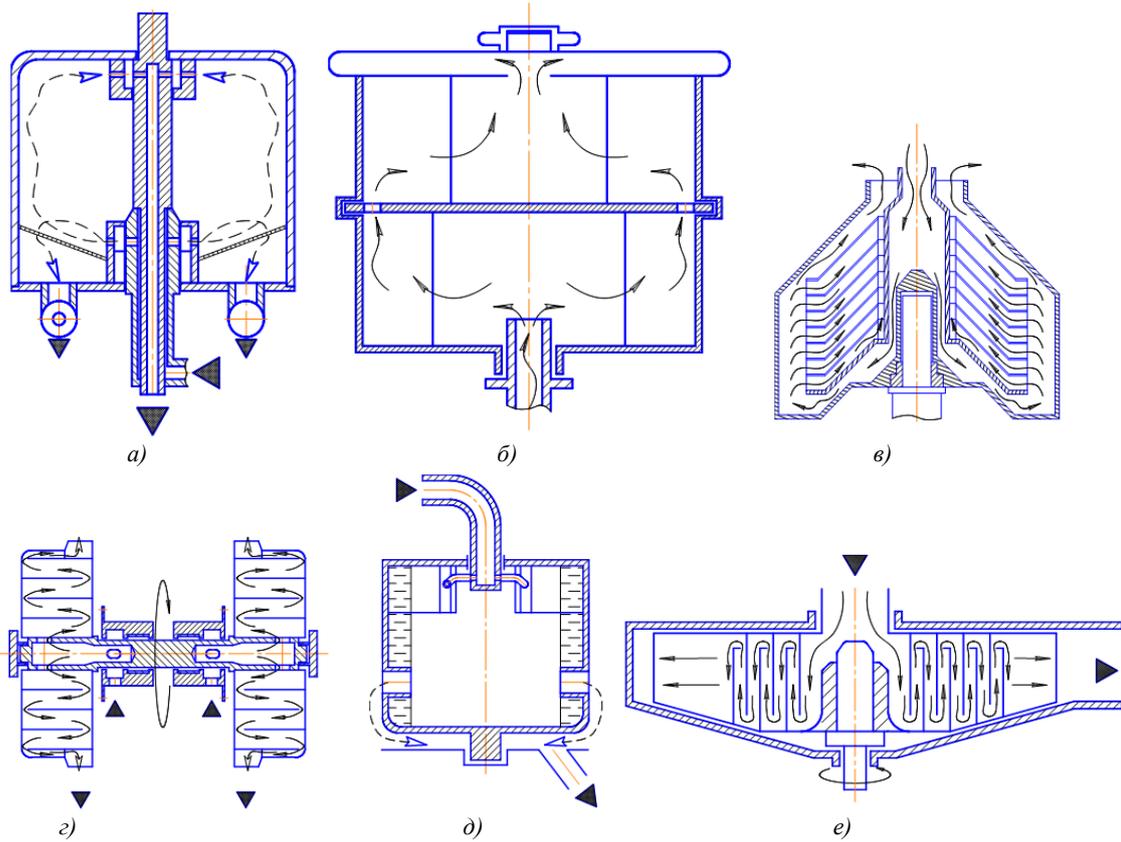


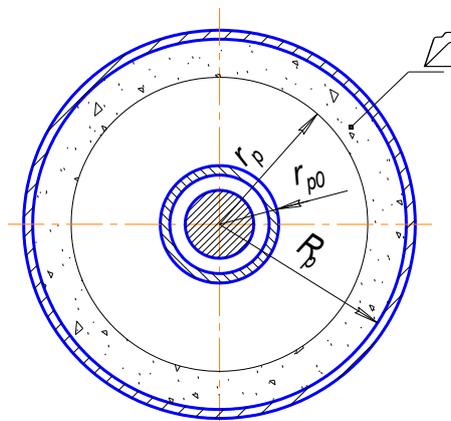
Рис. 1. Типы привода масляных центрифуг

При выборе ротора для конкретных задач важно учитывать, что одним из главных методов повышения эффективности центрифуг является сокращение расстояния, по которому осаждаются частицы в роторе. С уменьшением разницы  $R_p - r_{p_0}$  для улучшения процесса отсева частиц в центрифуге необходимо поддерживать постоянное время пребывания жидкости в центробежном поле. Это позволит увеличить эффективность отсева и уменьшить максимальный диаметр частиц, которые полностью осаждаются внутри ротора (рис. 3). Кроме того, скорость потока жидкости оказывает влияние на процесс осаждения частиц, поскольку увеличивает вероятность возникновения турбулентности [4]. Для уменьшения пути осаждения частиц рекомендуется использовать роторы с несколькими камерами или спиральной конструкцией. Внутренние разгоняющие лопасти помогают снизить турбулентность потока (рис. 4, 5).

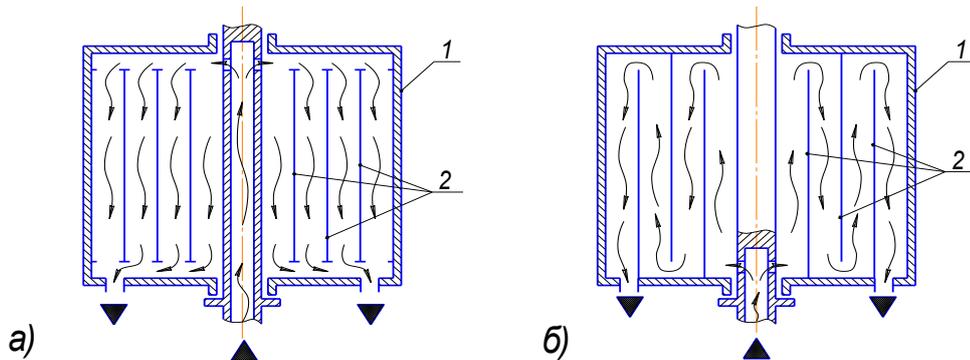
Представленная на рис. 6 номограмма поможет определить оптимальное число оборотов ротора для обеспечения эффективного отделения частиц кварца в зависимости от их диаметра.



**Рис. 2.** Основные типы роторов масляных центрифуг: *а* – однокамерные; *б* – двухкамерные; *в* – многокамерные; *г* – комбинированные; *д* – роторы открытого типа; *е* – роторы центрифуг с дополнительными функциями



**Рис. 3.** Зона осаждения частиц в роторе центрифуги: *I* — зона полного осаждения частиц



**Рис. 4.** Многокамерные роторы: *а* — ротор с параллельными камерами; *б* — ротор с последовательными камерами

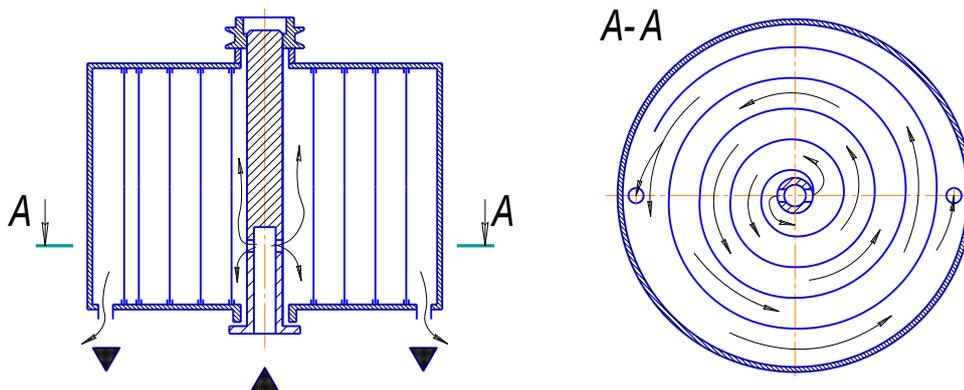


Рис. 5. Ротор со спиральной камерой

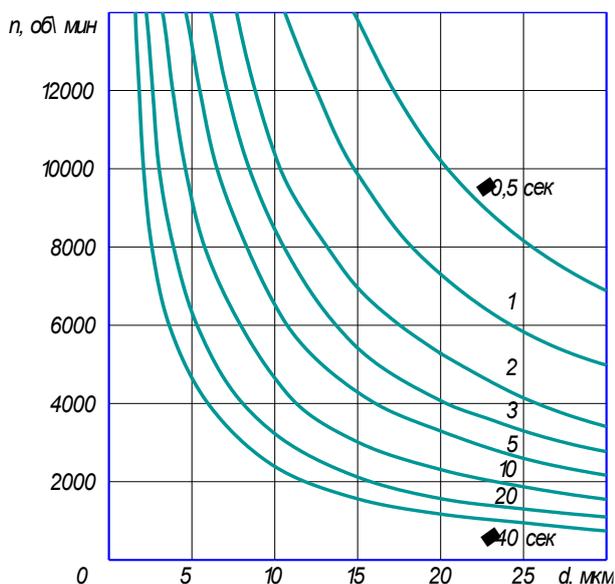


Рис. 6. Номограмма для определения числа оборотов ротора центрифуги в зависимости от диаметра частиц кварца, полностью осаждающихся в роторе при центрифугировании жидкости, при различных значениях  $\tau$

Для обеспечения необходимого уровня очистки необходимо учитывать максимальный диаметр частиц, которые могут быть полностью улавливаемы в роторе центрифуги. Важно, чтобы центрифуга не только успешно удаляла загрязняющие частицы, но и надежно удерживала их внутри себя, для того чтобы избежать обратного выноса частиц в очищенное масло. Были определены предельные диаметры частиц, которые могут быть осажены в роторе центрифуги. Опытные и расчетные данные представлены в табл. 1

Таблица 1. Предельный диаметр частиц, мкм, полностью осаждающихся в роторе центрифуги

Данные	Алюминиевый порошок, $\Delta = 1,35 \text{ г/см}^3$	Кварцевая пыль, $\Delta = 1,35 \text{ г/см}^3$	Гидрат окиси железа, $\Delta = 1,35 \text{ г/см}^3$	Стерокрил, $\Delta = 1,35 \text{ г/см}^3$
Опытные	13,2	13,0	11,4	33,0
Расчетные	11,0	9,8	8,0	21,6

Примечание. Частицы естественных загрязняющих примесей имеют не сферическую форму, способствующую их уносу со стенок ротора, а произвольную, вплоть до пластинчатой. Асфальто-смолистые частицы, имеющиеся в большом количестве в естественных загрязняющих примесях масла, прилипают к ложу ротора, а также одна к другой, и создают в роторе вязкий и липкий осадок.

Проведенные расчеты производительности полнопоточной центрифуги для достижения необходимых стандартов чистоты гидравлических масел позволили определить характеристики привода для трех различных значений производительности [1].

Частота вращения ротора центрифуги в минуту определяется по формуле (1):

$$n = \frac{\frac{\rho_m V_u^2 R}{2 \varepsilon F_c} - a}{b + \frac{\pi \rho_m V_u R^2}{30}}, \quad (1)$$

где плотность масла  $\rho_m = 900 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент сжатия струи масла  $\varepsilon = 1,0$ ; момент сопротивления в

начале вращения ротора  $\alpha = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$ ; скорость нарастания момента сопротивления  $b = 6 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{мин}^{-1}}$ .

Для определения оптимальной частоты вращения были выполнены расчеты с приведенными ниже изменяемыми параметрами:

1. Диаметр сопла центрифуги  $d_c = 0,002 \text{ м}$ ; площадь отверстия сопла  $F_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ; расстояние от оси сопла до оси вращения ротора  $R = 0,04 \text{ м}$ .

2. Диаметр сопла центрифуги  $d_c = 0,003 \text{ м}$ ; площадь отверстия сопла  $F_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} = 7,065 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ; расстояние от оси сопла до оси вращения ротора  $R = 0,04 \text{ м}$ .

3. Диаметр сопла центрифуги  $d_c = 0,004$  м; площадь отверстия сопла  $F_c = \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} = 12,56 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>; расстояние от оси сопла до оси вращения ротора  $R = 0,04$  м.

Давление масла перед центрифугой определяется по формуле (2):

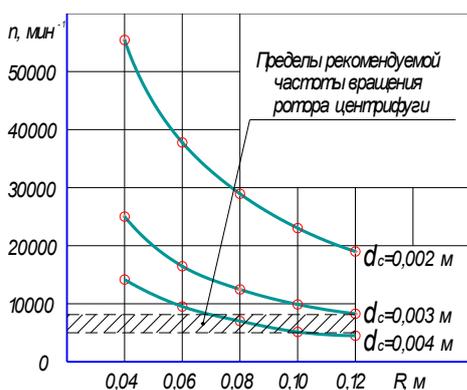
$$P = \rho_m \left[ \frac{V_u^2 - 4 \left( \frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2 (R^2 - r_0^2) \alpha^2 F_c^2}{8 \alpha^2 F_c^2 (1 - \psi)} \right]. \quad (2)$$

Радиус оси ротора  $r_0 = 20$  мм = 0,02 м; коэффициент расхода масла через сопло  $\alpha = 0,82$ ; коэффициент гидравлических потерь для полнопоточных центрифуг  $\psi = 0,15$ .

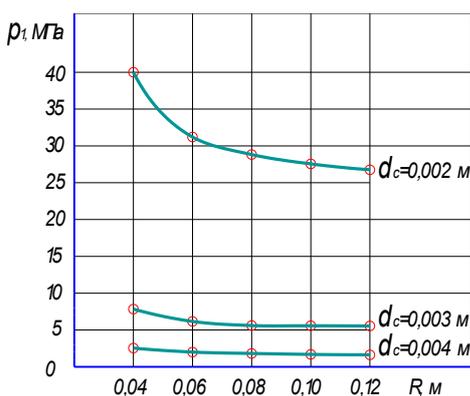
Результаты расчетов частоты вращения ротора центрифуги от ее геометрических параметров представлены в табл. 2, графическая зависимость — на рис. 7, 8.

**Таблица 2.** Зависимость частоты вращения ротора центрифуги от ее геометрических параметров

Диаметр сопла центрифуги, м	Количество масла, проходящего через сопла центрифуги, $V_u = 0,0001$ м <sup>3</sup> /с				
	Расстояние от оси сопла до оси вращения ротора, R, м				
	R = 0,04	R = 0,06	R = 0,08	R = 0,10	R = 0,12
$d_c = 0,002$	2 676,2	2 120	1 718,18	1 420	1 210
$d_c = 0,003$	1 213,2	930,4	756,9	627,0	535,0
$d_c = 0,004$	633,3	525,56	417,86	348,3	297,8



**Рис. 7.** Зависимость частоты вращения ротора центрифуги от ее геометрических параметров



**Рис. 8.** Зависимость давления масла перед центрифугой  $p_1$  от ее геометрических параметров

Изучая результаты расчетов, можно выделить оптимальные параметры центрифуги, которая может очистить гидравлическое масло до установленного уровня чистоты:  $r_{po} = 28$  мм;  $n = 5000$  об./мин;  $h_p = 80$  мм;  $R_p = 72,5$  мм.

**Выводы.** Согласно представленным теоретическим данным, центрифуги, специально разработанные для очистки гидравлических масел, должны обладать значительно более высокой эффективностью, в 3–4 раза превышающей характеристики известных моделей для моторных масел.

Достижение такой эффективности может быть реализовано путем применения активных гидрореактивных приводов, которые увеличивают количество оборотов ротора и время обработки масла в области действия центробежного поля, используя при этом многокамерные роторы с уникальными вставками.

Исходя из этого, рекомендуемой для разработки будет являться конструкция ротора тонкослойной центрифуги с активным гидрореактивным приводом.

Основные плюсы данной конструкции центрифуги включают:

- возможность независимого регулирования характеристик работы привода и процесса центрифугирования;
  - высокие обороты с возможностью их корректировки путем изменения диаметра и числа сопловых отверстий;
  - внедрение системы управления центрифугой дает возможность изменять качество очистки рабочей жидкости;
  - совместимость конструкции с разными типами гидросистем;
  - снижение уноса частиц загрязнений благодаря ловителям, что способствует повышению производительности и качества очистки;
  - использование ротора с продуманной организацией потока рабочих жидкостей помогает сократить время на осаждение загрязняющих частиц.
- Анализ различных конструкций центрифуг с различными типами приводов и роторов позволяет утверждать, что они могут эффективно использоваться для удаления механических примесей из моторных масел до необходимых стандартов чистоты. Кроме того, со-

став загрязнений, обнаруживаемых в моторных маслах, способствует формированию связанного слоя на стенках центрифуги, который предотвращает вынос при накоплении и может быть удален во время техобслуживания.

Загрязняющие частицы в гидравлических маслах не содержат веществ, создающих связанный слой, что приводит к выносу загрязнений при работе центрифуг. Также требования к чистоте гидравлических масел значительно выше, чем к моторным маслам, поэтому в гидравлических системах машин целесообразно применять фильтры, а центробежные очистительные

устройства — лишь в отдельных случаях во время технического обслуживания.

Рассмотренные расчеты полнопоточных центрифуг с расходами жидкости 0,0015; 0,0010 и 0,0005 м<sup>3</sup>/с показывают, что повышение производительности центрифуг возможно при условии конструирования тонкослойных центрифуг с активным гидрореактивным или пневмореактивным приводом.

Тонкослойные центрифуги с этими типами приводов могут быть включены в конструкции стандов для технического обслуживания гидросистем.

#### Литература

- Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая шк., 2002. 469 с.
- Плекханов Н.Г. Особенности применения масляных центрифуг в гидроприводе СДМ // Механика XXI века. 2020. № 19. С. 113-119.
- Гидравлические жидкости. Принцип работы гидравлических систем // Сайт ТОСКО. URL: <https://tosko.ru/about/poleznaya-informatsiya/gidravlicheskie-zhidkosti-printsip-raboty-gidravlicheskih-sistem.php> (дата обращения: 10.05.2024).
- Плекханов Н.Г., Батцэрэн Л., Плекханов Г.Н., Лханаг Д. Конструктивные особенности однокамерных и двухкамерных роторов масляных центрифуг // Механика XXI века. 2016. № 15. С. 418-421.
- Коновалов В.М., Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков. М.: Машиностроение, 1976. 288 с.
- Плекханов Г.Н., Герасимов С.Н., Кобзов Д.Ю. Устройство для очистки масла гидросистем: пат. 2487276 Рос. Федерация № 201210297/06; заявл. 16.03.2012; опубл. 10.07.2013.
- Плекханов Г.Н., Калашников Л.А., Куделько С.Н., Сыздыков В.А., Протасов В.И. Устройство для очистки масла гидросистем: пат. 2219388 Рос. Федерация № 2002108222/06; заявл. 01.04.2002; опубл. 20.12.2003, Бюл. № 35.
- Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. М.: Машиностроение, 1971. 672 с.
- Зеркалов Д.В. Обеспечение эксплуатационных свойств рабочих жидкостей и гидросистем // Строительные и дорожные машины. 1986. № 11. С. 29-30.
- Коваленко В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел. М.: Транспорт, 1978. 304 с.
- Никитин Г.А., Баканов Е.А. Топливные и масляные, и гидравлические системы воздушных судов. М.: Машиностроение, 1977. 280 с.
- Монастырский О.В. Очистка рабочих жидкостей гидросистем строительных и дорожных машин // Механизация строительства. 1980. № 10. С. 11-12.
- Соколов В.И. Современные промышленные центрифуги. М.: Машиностроение, 1967. 522 с.
- Юткевич Р.М., Савин К.А., Волегов В.А. Судовые сепараторы топлив и масел. Л.: Судостроение, 1967. 187 с.
- Алексеев П.Д., Торопов А.Г., Плекханов Г.Н., Сидоренко И.П., Васильев А.П. Устройство для очистки масла гидросистем: пат. RU 2000489 С1; заявл. 12.05.1991; опубл. 07.09.1993.
- Алексеев П.Д., Плекханов Г.Н., Торопов А.Г. Работоспособность рабочей жидкости гидропривода строительных машин при насыщении её водой. Л.: Инженерно-строительный ин-т, 1990. 11 с.
- Баканов Е.А., Захарчук Б.П., Лисовик Г.А. Влияние чистоты авиамасел на их противозносные свойства // Эксплуатационные свойства авиационных топлив, смазывающих материалов и специальных жидкостей. Вопросы химмотологии. Киев: Книга, 1977. С. 26-27.
- Коновалов В.М., Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков. М.: Машиностроение, 1976. 288 с.
- Плекханов Н.Г., Батцэрэн Л., Зеньков С.А., Плекханов Г.Н. Расширение функциональности турбокомпрессоров // Механика XXI века. 2016. № 15. С. 415-417.
- Otto P.H. Dahlke. Will water destroy Your Hydraulic system. Mashing Design, 2005. P. 25-31.
- Henry T. Brown. Mechanical Movements. Mashing Design, 2008. P. 72-78.
- Сато Я., Саки К. Контроль и уход за маслом в гидросистемных установках KLEENTEK. Юацу Гидзюцу, 2006. С. 4-6.
- Bennet R.N., Elkes G.J., Wanless G.J. Oil and Gas. 1975. 73. № 1. P. 69-73.
- Carman P. Fluid flow through granular beds «Трасакцион инст. Chem Eng». 1937. 15. P. 150-166.
- Hydrocarbon Processing. 1980. Vol. 59, № 9. P. 100.
- Mikus H. Energiewirt.Tagesfragen. 1988. Bd. 38, № 9. P. 732, 736.
- Tribologie und Schmierungstechnik. 1986. Jh. 33, № 2. P. 131, 134.

#### References

- Kolchin A.I., Demidov V.P. Calculation of automobile and tractor engines. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Vysshaya shk., 2002. 469 p.
- Plekhanov N.G. Features of the use of oil centrifuges in the BRM hydraulic drive // Mechanics to the XXI century. 2020. № 19. P. 113-119.
- Hydraulic fluids. The principle of operation of hydraulic systems // Sajt TOSKO. URL: <https://tosko.ru/about/poleznaya-informatsiya/gidravlicheskie-zhidkosti-printsip-raboty-gidravlicheskih-sistem.php> (data obrashcheniya: 10.05.2024).
- Plekhanov N.G., Batceren L., Plekhanov G.N., Lhanag D. Design features of single-chamber and double-chamber rotors of oil centrifuges // Mechanics to the XXI century. 2016. № 15. P. 418-421.
- Konovalev V.M., Skrickij V.Ya., Rokshevskij V.A. Separation of working fluids in hydraulic drives of machine tools. М.: Mashinostroenie, 1976. 288 p.
- Plekhanov G.N., Gerasimov S.N., Kobzov D.Yu. A device for cleaning the oil of hydraulic systems: pat. 2487276 Ros. Federaciya № 201210297/06; zayavl. 16.03.2012; opubl. 10.07.2013.

7. Plekhanov G.N., Kalashnikov L.A., Kudel'ko S.N., Syzdykov V.A., Protasov V.I. A device for cleaning the oil of hydraulic systems: pat. 2219388 Ros. Federaciya № 2002108222/06; zayavl. 01.04.2002; opubl. 20.12.2003, Byul. № 35.
8. Bashta T.M. Mechanical engineering hydraulics. M.: Mashinostroenie, 1971. 672 p.
9. Zerkalov D.V. Ensuring the operational properties of working fluids and hydraulic systems // Construction and Road Building Machinery. 1986. № 11. P. 29-30.
10. Kovalenko V.P. Pollution and purification of petroleum oils. M.: Transport, 1978. 304 p.
11. Nikitin G.A., Bakanov E.A. Fuel and oil, and hydraulic systems of aircraft. M.: Mashinostroenie, 1977. 280 p.
12. Monastyrskij O.V. Cleaning of hydraulic fluids of construction and road machinery // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 1980. № 10. P. 11-12.
13. Sokolov V.I. Modern industrial centrifuges. M.: Mashinostroenie, 1967. 522 p.
14. Yutkevich R.M., Savin K.A., Volegov V.A. Marine fuel and oil separators. L.: Sudostroenie, 1967. 187 p.
15. Alekseenko P.D., Toropov A.G., Plekhanov G.N., Sidorenko I.P., Vasil'ev A.P. Device for cleaning hydraulic system oils: pat. RU 2000489 C1; zayavl. 12.05.1991; opubl. 07.09.1993.
16. Alekseenko P.D., Plekhanov G.N., Toropov A.G. The working capacity of the hydraulic fluid of the construction machinery when saturated with water. L.: Inzhenerno-stroitel'nyj in-t, 1990. 11 p.
17. Bakanov E.A., Zaharchuk B.P., Lisovik G.A. The effect of the purity of aircraft oils on their anti-wear properties // Ekspluatatsionnye svoystva aviacionnyh topliv, smazyvayushchih materialov i special'nyh zhidkostej. Voprosy himmotologii. Kiev: Kniga, 1977. P. 26-27.
18. Konovalov V.M., Skrickij V.Ya., Rokshevskij V.A. Cleaning of working fluids in hydraulic drives of machine tools. M.: Mashinostroenie, 1976. 288 p.
19. Plekhanov N.G., Batceren L., Zen'kov S.A., Plekhanov G.N. Expanding the functionality of turbochargers // Mechanics to the XXI century. 2016. № 15. P. 415-417.
20. Otto P.H. Dahlke. Will water destroy Your Hydraulic system. Mashing Design, 2005. P. 25-31.
21. Henry T. Brown. Mechanical Movements. Mashing Design, 2008. P. 72-78.
22. Sato Ya., Saki K. Oil control and maintenance in KLEENTEK hydraulic systems. Yuacu Gidzyucu, 2006. P. 4-6.
23. Bennet R.N., Elkes G.J., Wanless G.J. Oil and Gas. 1975. 73. № 1. P. 69-73.
24. Carman P. Fluid flow through granular beds «Трасакцион инст. Chem Eng». 1937. 15. P. 150-166.
25. Hydrocarbon Processing. 1980. Vol. 59, № 9. P. 100.
26. Mikus H. Energiewirt. Tagesfragen. 1988. Bd. 38, № 9. P. 732, 736.
27. Tribologie und Schmierungstechnik. 1986. Jh. 33, № 2. P. 131, 134.