

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕОСЕПАРАТОРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье анализируется существующая методика проектирования реоцентрифуг для центробежной очистки автомобильных эксплуатационных материалов от механических примесей и влаги. Отмечены её недостатки. Предложены дополнения к ней, используемые при проектировании реоцентрифуг повышенной производительности и с более высоким качеством очистки. Приводятся основные положения программы перестройки производства реосепараторов с целью импортозамещения.

**Ключевые слова:** реосепараторы, автомобильные эксплуатационные материалы, центробежная очистка, методика проектирования, импортозамещение.

### Анализ недостатков

Двух одинаковых растворов по физико-химическим свойствам и дисперсному составу среди загрязнённых автомобильных эксплуатационных материалов (смазочных масел, топлива, охлаждающих, моющих, тормозных, гидравлических жидкостей, электролитов) найти невозможно. Даже если проанализировать состояние всей транспортной техники в стране. Для центробежной очистки каждого из этих материалов нужен свой специальный реосепаратор.

Проектирование одной центробежной машины – трудоёмкий процесс [1]. Это менее всего соответствует большим интеллектуальным, материальным и финансовым затратам, так как новый реосепаратор может быть приспособлен для переработки только одного или двух растворов.

При создании новых центробежных реосепараторов (ЦРС) о загрязнённых автомобильных эксплуатационных материалах (ЗАЭМ), как о сырье, надо знать очень многое, т. к. они представляют собой многофазные, полидисперсные реологически сложные материалы-композиты.

В своей массе ЦРС имеют незначительные конструктивные различия, т.к. они воспроизводят одну и ту же механику движения отделяемой частицы в жидкой среде в поле действия кориолисовых сил. Этот факт должен упрощать решение проблемы универсализации, но на практике этого нет, т.к. для каждого материала надо устанавливать свои параметры настройки. Они зависят от размеров и вида материала отделяемых частиц и дисперсионной среды, процентного соотношения частиц разного размера и многих других условий.

Обязательное условие реосепарации нескольких материалов на одном ЦРС: жидкости должны относиться к одному классу; быть близкими по вязкости; иметь одинаковые по концентрации, дисперсному составу, плотности компоненты раствора. Такое совпадение бывает редко.

ЗАЭМ обладают широким спектром пластических, упругих, прочностных свойств, присущих любому материальному телу. Эти свойства современная теория сепарирования не учитывает. Трудности проектирования вынуждают заказчиков приобретать не совсем пригодное серийное оборудование.

На выбор предлагается модельный ряд нефтяных ЦРС. Например, центробежные реосепараторы маслоочистительных установок ПСМ1-3000 по паспортным данным предназначены для сушки (очистки от воды) и отделения механических примесей от трансформаторных масел. Они могут использоваться также для очистки минеральных смазочных масел. Реосепаратор ОДВ, применяемый в химической промышленности, предназначен для очистки сточных вод, полиэлектролитов, минеральных масел. Реосепаратор УОВ используется для переработки нефтепродуктов, моющих средств. Реосепаратор В5 (немецкая фирма «Humboldt Wedag») применяется для очистки сточных вод, отработанного масла, отходов химических производств.

Реосепаратор ДА-30 (фирма «Westfalia Separator») используется для переработки жиров и растительных масел. Фирма «Alfa Laval» выпускает высокоскоростные тарельчатые реосепараторы AlfaPure, обеспечивающие быструю трёхфазную сепарацию воды, масла и

шламов, причём одновременно. Подробный список оборудования, используемого для центробежной реосепарации ЗАЭМ, приводится в работе [2].

В техническом отношении ЦРС большой производительности сложны. Инструкции по их применению довольно подробны. Имеют иногда несколько десятков страниц, где даются технические данные, устройство и работа. Указываются возможные неисправности, причины возникновения и способы их устранения и т. д.

Для таких сложных в техническом отношении машин, имеющих сложные системы автоматики по слежению за работой различных узлов и деталей (приёмно-выводных устройств, механизмов выгрузки осадка и промывки барабана, подшипниковых узлов), контрольно-измерительные приборы давления, температуры, первый раздел инструкций «Назначение центробежного сепаратора» содержит всего одну-две строчки. В указаниях могут приводиться общеизвестные выдержки из учебников и справочной литературы по теории разделения. Данный вопрос не достаточно хорошо проработан, не выявлены все возможности этих машин.

Зная о возможностях, имеющихся у них реосепараторов с подробными инструкциями, технологическими картами и режимами переработки различных продуктов, потребители ограничили бы покупку новых. Без дополнительных затрат они смогут перейти на переработку другого, более нужного, продукта. Уменьшится дефицит и снизится стоимость машин на единицу продукции. Главное здесь то, что конструкторская переделка не нужна.

Известный учёный, основоположник классической теории сепарирования Г.И. Бремер вместе с сотрудниками МИМЭСХ провёл исследования на предмет возможности использования молочных реосепараторов для очистки от воды и механических загрязнений разных нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве и в промышленности [3]. Этим удлинялся срок службы смазочных масел в дизельных и газогенераторных установках. Предложены реконструкции (несложная переделка) молочных машин. Работающий по схеме концентратора молочный сливоотделитель стал работать как кларификатор, в котором процесс отложения механических примесей задействован как основной. Здесь же предложена схема

пурификаторной очистки нефтепродуктов с непрерывным отводом воды.

Мировая практика применения ЦРС нацелена на повышение рентабельности производства. Универсальные и многоцелевые реосепараторы должны сочетать центробежный способ воздействия с дополнительным механическим, термическим, электрическим, магнитным. Некоторые из них применяются и сейчас. Внедрение новых, регулирующих техпроцесс, параметров позволит настраивать эти машины на реосепарацию любых растворов-композиций.

Анализируя состояние отрасли сепараторостроения в Российской Федерации, можно отметить, что она относится к стратегическим, т. к. её продукция используется почти во всех отраслях национальной экономики. От этой отрасли, наряду с другими, зависит технологическая безопасность страны. Отсталость её развития делает Россию зависимой от зарубежных поставок. Импортозамещение в таких условиях невозможно.

### Методы решения проблем

Наметим следующие пути перестройки производства и использования ЦРС [4] с целью импортозамещения:

1. Более глубокое изучение свойств материалов на предмет переработки их в разных существующих реосепараторах и реоцентрифугах, повышая тем самым эффективность использования и ограничивая конструктивное разнообразие машин.

2. Цеховая доработка и совершенствование серийно выпускаемых центробежных машин, обеспечивающие возможности их многоцелевого применения.

3. Перепрофилирование восстановленных, бывших в употреблении реосепараторов и реоцентрифуг различного уровня качества.

4. Создание новых универсальных авто- и реосепараторов, выполняющих различные функции ранее созданных машин и приспособленных для переработки большого количества разных материалов.

5. Разработка и реализация программы «ЦРС в каждый гараж».

Первый путь предполагает более глубокое изучение свойств перерабатываемых ЗАЭМ, разработку дополнительных рекомендаций по режимам обработки разных продуктов, допол-

нение инструкций по эксплуатации ЦРС в новых условиях. Проводимые здесь научные исследования не требуют больших капитальных вложений, но могут быть в ближайшее время реализованы и дать значительный экономический эффект. Это позволит расширить сферу применения и эффективность использования старых машин, снизить дефицит нефтяных ЦРС. По такому пути пошли производители реосепараторов ОДВ.

Второй путь на начальном этапе дополняет первый. Согласно рекомендациям, полученным на первом этапе, проводится комплектация изготовленных ЦРС дополнительными деталями, узлами или устройствами.

Например, барабан центробежного разделителя легко превратить в очиститель, если заменить у него в пакете нижнюю тарелку, преобразовав центральную систему питания конусных рабочих зазоров (КРЗ) в периферийную. В качестве дополнительного устройства можно приложить несложный и недорогой регулятор оборотов привода. Эти мероприятия позволят расширить функциональные возможности ЦРС и рынок сбыта.

Третий – продажа бывших в употреблении реосепараторов широко практикуется за рубежом (особенно машин средней и малой производительности). Потребитель может выбирать между реосепараторами и реоцентрифугами:

1. Капитально отремонтированными.
2. После сервисного ремонта.
3. Без какого-либо ремонта.

Такая практика использования отработавших свой срок ЦРС, предложенная ещё Бремером Г.И., не нашла широкого распространения в национальной экономике России.

Четвёртый путь – работы, проводимые на стадии проектирования. Они посвящены вопросам повышения степени механизации и автоматизации процесса разделения ЗАЭМ с помощью автосепараторов – машин с дополнительными, регулируемыми технологический процесс, устройствами.

Пятый путь предполагает подключение к малоизвестному в нашей стране европейскому экологическому общественному движению «Сепараторы в каждый гараж». Основной его недостаток заключается в том, что от владельцев гаражей и автомобилей требуются дополнительные материальные затраты. Этот недоста-

ток легко может быть устранён, если ЦРС незаметно въедет в гараж вместе с автомобилем, у которого модернизирована система смазки. Сменные экологически опасные топливные и масляные фильтры уйдут в прошлое при замене их центробежными автосепараторами малой производительности.

Согласно положению о критических технологиях федерального уровня, при условии господдержки, каждое из пяти направлений «Программы перестройки производства и использования ЦРС» может быть реализовано в течение 5 лет.

### Результаты

Работы, проводимые нами в рамках этой программы перестройки, дают возможность определиться с инновационными направлениями исследований. Одно из них – универсализация реосепараторов – позволяет разработать новые, более эффективные техпроцессы реосепарации [5] с помощью новых запатентованных машин [6]. Разработанный нами реосепаратор двойного назначения [7] способен перерабатывать жидкости любой вязкости, с любой концентрацией и плотностью дисперсной фазы и дисперсионной среды. Регулятор ширины КРЗ может установить зазор менее 0,2 мм, что не реализуется в серийных ЦРС.

Новая машина выполняет также функцию измерительного прибора – вискозиметра. Простота конструкции заключается в отсутствии пакета конических тарелок и в минимальном наборе деталей (корпус и основание барабана; два уплотнения с двумя подшипниками; две крышки; конус; кольцо затяжное; втулка; гайка с лимбом ширины КРЗ; контргайка), которая позволяет наладить производство машин как малой, так и средней и большой производительности на любом механическом заводе, а не только на специализированных сепараторных предприятиях.

Реализация программы в промышленном масштабе позволит решить критически важную задачу – вывести сепараторостроение в России на мировой уровень, завоевать нишу на рынке сбыта конкурентоспособной продукции.

На основании теоретических исследований и предложенных технических решений приводим дополнения к общей методике проектирования центробежных реосепараторов малой производительности (ЦРСМП), предназначенных для очистки ЗАЭМ:

Вариант 1 – проектирование новых ЦРС:

1.1. Составление задания на проектирование, в котором заказчик определяет свойства исходного продукта, требуемое качество очистки и наименьшую производительность (нами предлагается более глубокое изучение реологических свойств сепарируемых продуктов с определением их реологических моделей) [8];

1.2. Определение вязкости заданного исходного материала с помощью поточных инлайн-вискозиметров конусного типа (нами предлагаются конструкции приборов повышенной точности в связи с приближением процесса измерения к реальному процессу реосепарации, в том числе в КРЗ в режиме реального времени – а.с. № 1469316, а.с. № 1670534, пат. № 2149378);

1.3. Выбор типа (функционального назначения) устройства (исполнитель оценивает возможность использования принципиальной схемы реосепарации в КРЗ): разделитель, очиститель, ЦРС многоцелевого назначения и др. (нами предлагаются схемы реосепарации суспензий и эмульсий в цилиндрической, сферической и специальной системах координат, дополненные вектором скорости частицы жидкости в КРЗ, вызванной сдвигом потока в окружном направлении, позволяющие расширить функциональные возможности ЦРС) [9];

1.4. Определение основных геометрических параметров (тип барабана и его диаметр, ширина КРЗ, количество рабочих тарелок и высота пакета, угол конуса и т. п.) зоны сепарации (нами предлагаются: при использовании регулятора ширины КРЗ задавать пределы её изменения; при использовании сменных дистанционных колец учитывать пределы изменения числа тарелок в пакете и пределы изменения радиуса расположения границы раздела фаз) [5];

1.5. Определение основных кинематических (угловая скорость неразделённого пакета тарелок, разность угловых скоростей чётного и нечётного пакетов  $\Delta\omega$ , значения окружной и радиальной скоростей потока ЗАЭМ в КРЗ, значения окружной и осевой скоростей в центральной питающей трубке и шламовом пространстве), динамических (давление жидкости в барабане, момент вязкого трения, коэффициент сопротивления Аллена при обтекании твёрдой частицы жидкостью для вязкопластической реологической модели по методу Накано-Тьена и др.) и технологических (температура, вязкость

раствора, критерий Гольдина  $\lambda$ , критерий Кибеля-Россби-Гольдина  $\xi$ , критерий Рейнольдса  $Re$  и др.) параметров ЦРС (нами предлагается дополнение к методике расчёта кинематических, динамических и технологических параметров: скорости Стокса, окружной скорости потока ЗАЭМ в КРЗ, момента вязкого трения, напряжения сдвига слоёв жидкости в КРЗ, вязкости раствора, критерия Гольдина и критерия Кибеля-Россби-Гольдина с учётом разности угловых скоростей вращения соседних конусов, реологической модели ЗАЭМ и с учётом ограничений, которые задают геометрические размеры и прочность зубчатых колёс у регуляторов  $\Delta\omega$ ; коэффициент сопротивления Аллена для переходного режима течения ЗАЭМ в КРЗ при больших значениях числа Рейнольдса рекомендуется определять по методу Фарарои-Кантнера,) [4], [9];

1.6. Моделирование на ЭВМ процесса осаждения частиц в КРЗ, изменения результирующей относительной окружной скорости движения частиц жидкости в КРЗ (нами предлагается программа для ЭВМ по вычислению результирующей относительной окружной скорости движения частиц жидкости в КРЗ) [10];

1.7. Разработка конструкции и расчёт деталей барабана ЦРС на прочность с учётом динамических нагрузок (нами предлагаются конструкции пяти ЦРСМП с различными регуляторами относительной угловой скорости вращения соседних конусов рабочих зазоров, включая регуляторы ширины КРЗ и радиуса расположения границы раздела фаз) [11];

1.8. Разработка конструкций и расчёт элементов привода барабана ЦРС для переработки эмульсий (нами предлагается дополнение методики инженерного расчёта привода с гитарным регулятором с использованием новых ЦРСМП-очистителя и ЦРСМП-разделителя универсального типа – а.с. №1692042, пат. № 2129472, пат. № 24 17126);

1.9. Разработка конструкций и расчёт тормозного механизма, поплавкового регулятора и других устройств (нами предлагается конструкция тормозного механизма, уменьшающего угловую скорость вращения дополнительного тарелкодержателя, описание работы поплавкового регулятора) [12];

1.10. Изготовление опытного образца барабана и испытание его на экспериментальном

стенде и корректировка конструкции по результатам испытаний (нами предлагается стенд для испытаний ЦРС при очистке ЗАЭМ с тормозным устройством-регулятором  $\Delta\omega$ , обеспечивающим регулировку угловой скорости вращения с целью выбора наиболее благоприятных условий гашения вихревых, турбулентных течений жидкости в КРЗ без остановки барабана онлайн-реосепаратора в режиме реального времени) [13];

1.11. Изготовление опытного образца и испытания ЦРС, корректировка технических решений его элементов по результатам испытаний;

1.12. Разработка инструкции по эксплуатации и другой сопроводительной документации. Вариант 2 – выбор серийного ЦРС:

2.1...2.6. - Аналогичны варианту 1.

2.7. Определение возможности использования серийных ЦРС для осуществления процесса реосепарации и выдача рекомендаций заказчику на их использование (модельный ряд серийных машин дополнен нами пятью моделями универсальных ЦРСМП).

Проделанная работа позволила сформулировать:

1. Правило механики жидкости, которое мы назвали «Правилем нейтрализации силы Кориолиса силой вязкого трения Ньютона». Его можно использовать при теоретическом обосновании способа гашения турбулентных, вихревых течений вязких материалов в рабочих каналах технологических машин.

2. Принцип цепной реакции инноваций в реосепарации. Он объясняет инновационное развитие стратегически важных отраслей национальной экономики. Эти отрасли характеризуются тем, что используют одинаковые технологические процессы при разных параметрах настройки оборудования[4].

## Выводы

Придерживаясь методологии выявления и обоснования актуальных (технически реализуемых) потребностей [14] к уже известным критериям эффективности – потребительским качествам (компактность конструкций, небольшие размеры, надёжность, экономичность, высокая производительность, безопасность, транспортабельность, эстетичность, экологичность) центробежных реосепараторов мы добавляем новые: универсальность, многофункциональность, высокая степень автоматизации, обеспечивающие возможность их многоцелевого использования при переработке ЗАЭМ.

Многие технологические параметры универсальный ЦРС может самоконтролировать. Например, давление, температура, обороты привода и др. Это значит, онлайн-реосепараторы являются измерительными приборами, функциональные возможности которых, по сравнению с ЦРС традиционных конструкций, расширены.

Работа этих машин в режиме измерения реологических свойств перерабатываемых ЗАЭМ, значительно раздвигает сферу их применения, возлагая на них дополнительную функцию контроля вязкости. Возможности автоматической перенастройки автосепараторов с производственного процесса на контроль качества позволяют проводить измерения на различных этапах процесса переработки без остановки машин, удерживая под постоянным автоматическим контролем весь производственный цикл в режиме реального времени (онлайн).

Предложенная программа перестройки производства ЦРС послужит основой к решению проблем импортозамещения в сепараторостроении.

30.08.2014

## Список литературы:

1. Гольдин, А.М. Гидродинамические основы процессов тонкослойного сепарирования / А.М. Гольдин, В.А. Карамзин. – М.: Агропомиздат, 1985. – 264 с.
2. Морозов, Н.А. Совершенствование центробежной очистки автомобильных эксплуатационных материалов от механических примесей. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2006. – 194 с.
3. Бремер, Г.И. Теория центробежной очистки нефтепродуктов и её практическое применение при эксплуатации нефтяных сепараторов в сельскохозяйственном производстве: сборник научных трудов по сельскохозяйственной механике / Г.И. Бремер. – Л., М.: Сельхозиздат. – 1961. – Т.6. – С. 39–52.
4. Назаров В.В. Универсальные реосепараторы / В.В. Назаров, С.В. Назаров. – Saarbruken: Lambert Academic Publishing, 2014. – 316 с.
5. Назаров В.В. Очистка и сепарация нефтепродуктов реоцентрифугированием / В.В. Назаров, В.М. Кушнаренко // Вестник ОГУ. – Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ. – №10. – 2011. – С. 205–210.

6. Патент RU № 2505360, МПК В04В 1/08, В04В 9/08. Центробежный сепаратор-очиститель / В.В. Назаров, С.В. Назаров, А.А. Муллабаев, В.И. Чепасов, В.М. Кушнарченко. – Заявл. 26.07.12. Бюл. №3.
7. Патент RU № 2231043, МПК G 01 N 11/14. Вискозиметр / Л.П. Карташов, В.В. Назаров, Т.Н. Корнилова, Н.А. Морозов, М.В. Буянов. – Заявл. 20.06.04. Бюл. № 17.
8. Назаров В.В. Обоснование гипотезы неньютоновского течения растворов в центробежных реосепараторах / В.В. Назаров, В.М. Кушнарченко, С.В. Назаров, О.Н. Алеева, П.А. Борискина // Вестник ОГУ. – Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ. – №1. – 2014. – С. 203–206.
9. Назаров С.В. Развитие теории центробежной реосепарации биожидкостей и нефтепродуктов [Электронный ресурс] / С.В. Назаров, В.В. Назаров – Режим доступа: <http://www.inform-mash.ru/materials/technology/34750-razvitiie-teorii-centrob..20.05.2013>. – 7 s.
10. Свидетельство № 2009614610 на программное средство «Графическое построение поля скоростей» / В.В. Назаров, 28.08.2009. – 1180 Кб.
11. Назаров В.В. Разработка нового оборудования для центробежной реосепарации нефтепродуктов [Электронный ресурс] / В.В. Назаров, С.В. Назаров. – Режим доступа: <http://www.inform-mash.ru/materials/technology/20910-razrabotka-novogo-oborudovani..15.03.2012>. – 3,7 s.
12. Назаров, С.В. Механика движения жидкости в центробежных реосепараторах двойного назначения [Электронный ресурс] / С. В. Назаров, В. В. Назаров. – Режим доступа: <http://www.inter-maz.ru/analitics/mekhanika-dvizhenija-zhidkosti-v-centrobezhnykh-reosepara..16.01.2012>. – 4 s.
13. Назаров В.В. Метод центробежной очистки автомобильных эксплуатационных материалов от механических примесей / Н.А. Морозов, В.В. Назаров // Вестник ОГУ. Приложение. – Оренбург: ОГУ, 2005. – № 12. – С. 95–100.
14. Половинкин, А.И. Теория проектирования новой техники: закономерности техники и их применение / А.И. Половинкин. – М.: Информэлектр, 1991. – 104 с.

Сведения об авторах:

**Кушнарченко Владимир Михайлович**, профессор кафедры машиноведения Аэрокосмического института Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор  
e-mail: vmkushnarenko@mail.ru

**Назаров Вячеслав Владимирович**, сотрудник лаборатории «Надёжность» Технопарка ОГУ Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент  
e-mail: reonaz.v.v@yandex.ru.

**Назаров Семён Вячеславович**, сотрудник лаборатории «Надёжность» Технопарка ОГУ Оренбургского государственного университета  
e-mail: reonaz.v.v@yandex.ru.

460018, Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 4309, тел.: (3532) 23-20-71,