

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

С. Н. НИЧИПОРУК, ст. преподаватель  
А. И. РУСАК, ассистент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Загрязнение масла водой является общей проблемой во многих видах промышленного применения, и потребность в обезвоживании масел увеличивается с появлением новых и более экологичных качеств масел, которые часто являются более гигроскопичными и поглощают больше воды.

В типичной промышленной масляной системе масло может быть загрязнено водой разными путями, например, при утечке воды в масляную систему или в результате переноса водяного пара, содержащегося во влажном воздухе. Все формы воды в масле могут иметь прямые последствия для масляной системы, такие как, например, изменение TAN (общего кислотного числа), pH и вязкости. Вода сосуществует с маслом либо в растворенном состоянии, либо в эмульгированном состоянии, либо в свободном состоянии, при этом растворенное состояние представляет собой самый низкий уровень загрязнения влагой многих типов масла. Вода в свободном состоянии отделяется от масла в системе и может многократно быть визуально идентифицирована. Удельная плотность большинства масел меньше удельной плотности воды, поэтому вода обычно собирается на дне, например, резервуаров в масляной системе, и по этой причине свободная вода может быть удалена путем слива через сливное отверстие резервуара. В эмульгированном состоянии вода смешана с маслом. Вода в эмульгированном состоянии будет в основном сохраняться в смешанном состоянии и не отделяется от масла, как свободная вода [1]. В растворенном состоянии вода растворена в масле. Когда температура масла увеличивается, – способность поглощать воду увеличивается, и когда масло охлаждается с высоким содержанием растворенной воды, – свободная вода выходит из масла. Растворенная вода происходит из влаги окружающего воздуха, медленно взаимодействующей с маслом с течением времени. Обычно, чем старше становится масло, тем оно будет более гигроскопичным. Точка водонасыщения масла – это точка, выше кото-

рой вода находится в свободной форме. Для многих масел точка водонасыщения составляет 200–600 ч/млн, и для экологически чистых масел 1000–5000 ч/млн в зависимости от возраста и состояния масла. Если, например, для масляной системы, требуется точка водонасыщения 100 ч/млн в качестве верхнего предела, свободная и эмульгированная вода, а также значительная часть растворенной воды должны быть удалены из масла, чтобы соответствовать требованиям к системе.

**Основная часть.** Электронно-ионные технологии применяются при обезвоживании сырой нефти и нефтепродуктов. Вода в нефть попадает при добыче нефти из нефтяных скважин, а также в ходе технологических процессов переработки нефти в нефтепродукты. Для обеспечения высокого качества нефтепродуктов необходимо в ходе технологического процесса обезвоживания вывести в максимально доступном количестве соли и воду из нефтепродукта. Удаление воды из нефтепродукта может происходить в результате организации направленного движения капель воды из объема нефтепродукта.

Первым направлением является использование седиментации капель воды. Иными словами, в процессе отстоя капли воды под действием силы тяжести осаждаются на дно резервуара.

Второе направление зарядка и организация движения частиц воды в электрическом поле таким образом, чтобы капли воды ушли за пределы объема нефтепродукта. Капельки воды могут под действием сил электрического поля собираться на электродах или специальных пористых перегородках и стекать на дно сосудов. Удаление воды со дна резервуара производится путем слива [2].

Удаление воды из нефти основано на том, что вода имеет большую плотность, чем нефть, и в процессе отстоя капли воды падают на дно резервуара. Нефть всплывает и остается в верхней части резервуара. Эффективность процесса удаления воды из объема нефтепродукта зависит от вязкости нефтепродукта. Вязкость определяется температурой, и, чем выше температура, тем меньше вязкость и больше скорость седиментации. Также скорость процесса зависит в значительной мере от размера капель воды: чем больше радиус капли, тем выше скорость оседания капель. Установившаяся скорость оседания капель воды в нефтепродукте определяется из условия равенства внешней силы  $F$ , действующей на каплю, силе сопротивления среды движению капли. Внешняя сила, действующая на каплю, находящуюся в нефтепродукте, равна разности между силой тяжести и архимедовой силой (силой плавучести).

Скорость движения капель в электрическом поле в нефтепродукте определяется из равенства силы, действующей в электрическом поле на каплю, и силы сопротивления среды движению капли.

*Современные способы обезвоживания нефтепродуктов.*

Для регулирования загрязненного водой масла может использоваться традиционный дегидратор масла вакуумного типа для обезвоживания масла, благодаря чему свободная вода, эмульгированная вода и большая часть растворенной воды удаляются из масла.

Дегидратор масла используется для обезвоживания масел, таких как трансмиссионные, смазочные, компрессорные или гидравлические масла, которые загрязнены водой.

Традиционные дегидраторы масла вакуумного типа описаны, например, в патентных документах US 4681660 A, US 5211856 A, WO 99/65588 A1 и CN 200948367 Y. Известны также и другие типы дегидраторов масла, такие как дегидраторы с избыточным давлением. Дегидратор данного типа описан в патентном документе WO 2010/042663A2. У этих традиционных типов дегидраторов масла имеется много недостатков. Например, они тяжелые и имеют сложную конструкцию, это означает, что они должны быть построены на колесной платформе или помещены на тележку, чтобы дегидратор масла можно было транспортировать между различными местами очистки масла. Кроме того, дегидраторы масла данного типа очень дороги в производстве [1].

Другая проблема заключается в том, что, когда процесс обезвоживания масла завершен, большой объем остатков масла содержится в дегидраторе масла из-за конструкции дегидратора. Это означает, что существует риск того, что один тип масла может быть загрязнен остатками масла другого типа, если очищают масляные системы с различными типами масла.

Все перечисленные недостатки устраняет дегидратор масла описанный в патенте на изобретение RU 2 709 346 C1. Он имеет конструкцию с легким весом; прост в производстве при стоимости, которая намного ниже стоимости традиционных дегидраторов масла; и может использоваться в системах с различными маслами без загрязнения от масляных остатков, содержащихся в дегидраторе масла.

В настоящее время широкое распространение получили различные методы выделения газа из жидкостей во взвешенном состоянии. Значительный интерес представляют устройства с высокими скоростями истечения жидкости и газа из отверстий малого сечения. Из-за боль-

ших скоростных напоров в струях жидкости, выходящих из отверстий, возникают зоны пониженного давления. В эти зоны устремляются частицы водяного пара из участков, где давление выше, они подхватываются общим газовым током и перемещаются вверх. При этом весь объём масла, поступающий к решётке, участвует в интенсивном движении, а повышенное сопротивление решетки, необходимое для реализации инжекторного слоя, улучшает равномерность газораспределения. Отверстия газовой решетки в деэмульгаторе просверливаются в виде сопел. Сопло – специально спрофилированный канал, предназначенный для разгона жидкости или газа до заданной скорости и придания потоку заданного направления (рис. 1).



Рис. 1. Профилированное сопло

В соплах происходит непрерывное увеличение скорости  $V$  жидкости и газа в направлении течения – от начального значения  $V_0$ , во входном сечении сопла, до наибольшей скорости  $V=V_a$  на выходе. В силу закона сохранения энергии (вытекает из уравнения Бернулли одновременно с ростом скорости  $V$  в сопло происходит непрерывное падение давления.

$$\frac{V_1^2}{2d} + \frac{P_1}{j} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2d} + \frac{P_2}{j} + Z_2. \quad (1)$$

Таким образом, для реализации течения в сопло необходим перепад давления, то есть выполнение условия  $P_0 > P_a$ . При увеличении температуры  $T$  скорость  $V$ , во всех сечениях сопла, возрастает в связи с ростом начальной потенциальной энергии. В этих условиях для непрерывного увеличения скорости сопло должно иметь сужающуюся форму (рис. 2).

В основу конструктивной схемы положен следующий принцип: нагретое до  $100\text{ }^\circ\text{C}$  масло поступает с помощью насоса в деэмульгатор проходит через сопло, где на выходе, благодаря использования схемы

сопла Лавала, резко увеличивается скорость выхода масла и происходит падение давления. В этот момент находящиеся в масле пары воды легко преодолевают силы поверхностного натяжения масла и разделяются. При этом пары воды устремляются вверх, а аэрационные струи масла, потеряв энергию, стекают обратно в печь. Таким образом, принимаем следующую схему обезвоживания масел: нагрев масляной эмульсии в печи, обезвоживание в деэмульгаторе [3].

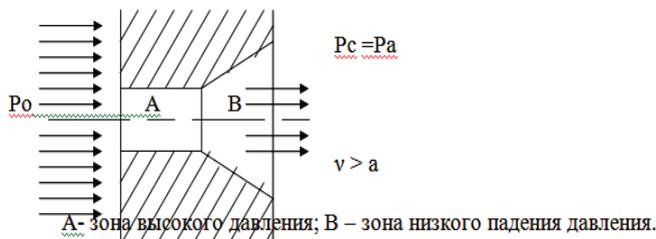


Рис. 2. Схема сопла

Также получило распространение обезвоживание масла методом фильтрования.

В качестве фильтрующих широкое распространение получили полимерные материалы, получаемые вспениванием. Так, например, легко деформируемый пенополиуретан позволяет создавать фильтры с заданной изменяющейся поровой структурой.

Предложена конструкция фильтра сепаратора (рис. 3) состоящего из корпуса 1, пакета фильтрующего материала 2, например пенополиуретана нижней и верхней распределительных решеток с несовпадающими отверстиями 3, 4, установленными в корпусе перед и за пакетом фильтрующего материала. В пакете фильтрующего материала выполнены сквозные отверстия, в которые установлены двухслойные трубчатые фильтроэлементы 5. В нижней распределительной решетке выполнены коаксиальные каналы для сбора конденсата 6, соединенные с выходным сливным отверстием 7.

Для более полного удаления воды из смазочных материалов предлагается использовать фильтр, состоящий из композиции полимерных материалов, получаемых вспениванием и двухслойных фильтрующих элементов. Первый слой двухслойного элемента выполняется из спеченного порошкового материала, например бронзы 8, а второй слой – из гидрофобного материала 9, например пористого фторопласта.

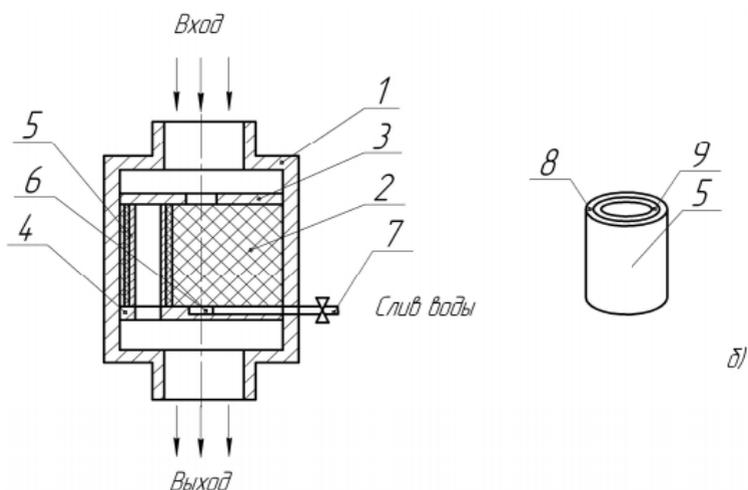


Рис. 3. Фильтр сепаратор: 1 – корпус; 2 – пакет фильтрующего материала; 3, 4 – распределительные решетки; 5 – двухслойные трубчатые фильтроэлементы; 6 – коаксиальные каналы; 7 – сливное отверстие; 8 – слой из спеченного порошкового материала; 9 – слой из гидрофобного материала

Фильтр работает следующим образом. Жидкость, содержащая посторонние примеси в виде твердых частиц и эмульгаторов, поступает через входной патрубок 2 и подвходя к входной распределительной решетке 3, распределяется на многочисленные потоки, проходящие через отверстия. Твердые частицы, движущиеся параллельно потоку, задерживаются в пакете фильтрующего материала 2, где также происходит коалесценция жидких эмульгаторов.

Капли воды накапливаются в порах пакета фильтрующего материала, и под действием потока жидкости сталкиваются друг с другом и образуют еще более крупные капли. Укрупненные капли благодаря наличию анизотропной структуры пор в пакете фильтрующего материала, двигаясь по крупным порам перпендикулярно потоку жидкости под действием силы тяжести стекают в коаксиальные каналы 6, где скапливаются и периодически удаляются через сливное отверстие 7. Далее поток жидкости движется по мелким порам к трубчатым фильтроэлементам 5, где благодаря водоотталкивающим свойствам гидрофобного наружного слоя 8 двухслойного трубчатого фильтроэлемента, задерживаются остатки твердых и жидких загрязнений, и выходит че-

рез отверстия в нижней распределительной решетке 4 и выходит через выходной патрубок [4].

Предложенный вариант фильтра-сепаратора за счет одновременно удаления воды и улавливания мельчайших твердых частиц позволит повысить качество очистки смазочных материалов.

**Заключение.** Наличие воды в нефтепродуктах оказывает негативное влияние на их эксплуатационные свойства [5]. Представляют интерес дальнейшие исследования по данной тематике.

Существуют два теоретических направления обезвоживания нефтепродуктов: использование седиментации капель воды; зарядка и организация движения частиц воды в электрическом поле.

Перспективным способом обезвоживания нефтепродуктов является обезвоживание при помощи схемы сопла Лаваля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дегидратор масла, система для обезвоживания масла, содержащая дегидратор масла, и способ обезвоживания масла с помощью дегидратора масла: пат. 2709346 Российская Федерация, МПК В01D 3/06, В01D 3/10, В01D 3/42, В01D 19/00, С10G 7/04, С10G 7/06, С10G 7/12, С10G 33/06, С10G 33/08 / СЕТРЕ, Нильс, Руне; заявитель АЛЬФА ЛАВАЛЬ КОРПОРЕЙТ АБ. – № 2019102673; заявл. 25.10.2016; опубл. 17.12.2019 // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели», 2019. – № 35.
2. Техника и технологии сбора и подготовки нефти и газа / Ю. Д. Земенков [и др.] ; под общ. ред. Ю. Д. Земенкова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. – 159 с.
3. Обезвоживание масел / Е. В. Кистанова // В мире научных открытий. – Ульяновск: Ульяновская гос. с.-х. акад. им. П. А. Столыпина, 2015. – Т. 1. – С. 130–132.
4. Чугаев, П. С. Обезвоживание смазочных материалов / П. С. Чугаев // Новые материалы и технологии их обработки. – Минск: Научно-технологический парк БНТУ «Метолит», 2009. – С. 121–122.
5. Ничипорук, С. Н. Влияние воды на эксплуатационные свойства гидравлических рабочих жидкостей / С. Н. Ничипорук // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2024. – Вып. 9. – С. 237–242.

*Аннотация.* Проанализирован процесс насыщения нефтепродуктов водой в эксплуатационных условиях. Рассмотрены теоретические направления обезвоживания нефтепродуктов. Перечислены некоторые способы обезвоживания нефтепродуктов.

*Ключевые слова:* трансмиссионные, смазочные, гидравлические, моторные масла, седиментация капель, электрическое поле, движение частиц, температура, обезвоживание нефтепродуктов, метод фильтрования, фильтр-сепаратор, дегидратор масла, сопла Лаваля.