



УДК 628.334.5.336.43

Адельшин А.Б. – доктор технических наук, профессор

E-mail: a566pm@rambler.ru

Урмитова Н.С. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: urmitova@mail.ru

Адельшин А.А. – кандидат технических наук, доцент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Структура фильтрационного потока и механизм процесса коалесценции в гидродинамических насадках с крупнозернистой загрузкой

Аннотация

Установлена возможность успешного применения бесконтактных оптических методов для исследования процессов движения жидкости в порах гранулированной загрузки, а также процессов коалесценции при фильтрации нефтяных эмульсий типа «нефть в воде» (НСВ) через гранулированные коалесцирующие загрузки.

Разработаны установка и методика исследования процессов движения НСВ в порах гранулированной загрузки с применением бесконтактного оптического метода.

В статье представлены исследования структуры фильтрационного потока воды в различных режимах; даны качественные и количественные характеристики гидравлического и массообменного взаимодействия в различных зонах фильтрационного потока и вклада гидравлического составляющего и других эффектов в процессах коалесценции эмульгированных нефтяных частиц при фильтрации эмульсии типа «нефть в воде» (НСВ) через гранулированную, крупнозернистую загрузку.

Ключевые слова: фильтрационный поток; нефтяная эмульсия; модель коалесцирующей насадки; оптические методы; структура фильтрационного потока; крупнозернистая загрузка; гранулы; шлирен – метод, тенеграмма.

При фильтрации воды через коалесцирующие загрузки из гранулированных материалов в фильтрационном потоке наблюдается различного вида деформации поля скоростей, образование проточных и непроточных зон завихрения и вторичных течений, диссипативные процессы, а действия сил инерции в фильтрационном потоке приводят к дополнительным потерям энергии.

При создании благоприятного режима фильтрации указанные обстоятельства могут быть реализованы в процессах изменения структуры внутренней фазы нефтяной эмульсии (НСВ), в частности, в процессах коалесценции нефтяных частиц, эмульгированных в НСВ.

Анализ исследований различных авторов показал, что до сих пор нет достаточно полной либо качественной, либо количественной оценки вклада гидродинамической составляющей и других указанных выше эффектов в процессах коалесценции эмульгированных нефтяных частиц при фильтрации НСВ через крупнозернистые гранулированные материалы.

Это, в основном, объясняется сложностью процессов фильтрации и коалесценции, происходящих в теле коалесцирующей загрузки, сложностью создания физической модели загрузки коалесцирующей насадки в целом, позволяющей визуализации и фиксации параметров фильтрационного потока и процессов, происходящих в этом потоке, в том числе механизма коалесценции нефтяных частиц в фильтрационном потоке НСВ. С точки зрения механизма процесса коалесценции, наибольший интерес представляет визуальное изучение гидродинамического и массообменного взаимодействия в различных зонах фильтрационного потока и в целом потоке. При исследованиях фильтрационного потока часто пользуются плоской моделью зернистого слоя.

Слихтер путем простых геометрических представлений определил пористость модели фиктивного грунта, построенного из одинаковых шарообразных частиц (рис. 1). Величина пористости зависит от конфигурации расположения шаров. Так как все шары одинакового диаметра, то расстояния между центрами любых двух соприкасающихся

шаров равно сумме их радиусов. Следовательно, центры восьми соприкасающихся шаров расположены в вершинах ромбоэдра. Этот ромбоэдр является основной моделью для фиктивного грунта в методе Сликтера. Различное расположение шаров фиктивного грунта колеблется между двумя крайними конфигурациями, из которых одна соответствует теснейшему расположению шаров, другая – более свободному [1].

Очевидно, угол ромба, из которого образованы грани ромбоэдра изменяется в пределах от 60° до 90° . На основании вышеуказанного, авторами выбрана следующая плоская модель коалесцирующей загрузки: диаметр цилиндров 10 мм, высота 15 мм, расстояние между ними 2 мм, $\theta=60^\circ$ (рис. 1).

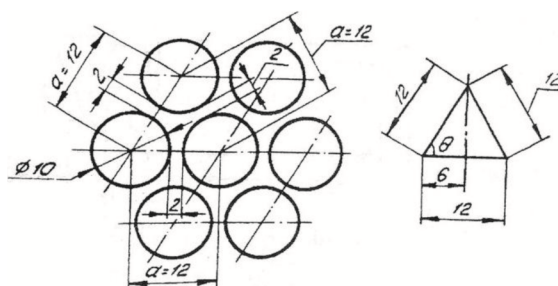


Рис. 1

Расчеты по методике [1] дали следующее: пористость загрузки составляет $m=0,370$; площадь прохода между цилиндрами в плоскости, соединяющей их центры $11,66 \text{ мм}^2$; просвет, характеризующий площадь прохода жидкости в самом узком месте перового канала $n=0,094 \text{ мм}^2$; функциональная связь между «n» и «m» характеризуется величиной $I_2=0,379$, $I_2=\text{const}$. Так как элементарные струйки жидкости движутся между шарами, огибая их, то траектория частиц жидкости, совпадающая с линией тока, будет некоторой искривленной в пространстве линией. Длина прямолинейного канала, заменяющего действительный криволинейный канал, $l_1=12,78 \text{ мм}$ при $\theta=60^\circ$.

Модель коалесцирующей насадки, разработанной нами, при исследованиях устанавливается на регулируемой монтажной станции прибора Теплера ИАБ-453. Модель насадки представляет собой прямоугольный металлический каркас размером $570 \times 35 \times 100 \text{ мм}$, ограничена с двух сторон оптическими стеклами и прижата боковыми фланцами. Рабочий канал модели $50 \times 15 \text{ мм}$ площадью рабочей оптической зоны, равной $20,6 \text{ см}^2$, превышающий световой диаметр прибора ИАБ-453, что позволяет последовательно изучить процесс движения жидкости по всей высоте модели загрузки движения жидкости по всей высоте модели загрузки.

Модель загрузки высотой 400 мм из полиэтиленовых цилиндров диаметром 10 мм, длиной 15 мм фиксирована на герметике оптическими стеклами (всего 36 рядов по высоте и в каждом ряду 4-5 цилиндров). В боковой части модели имеются два штуцера для соединения пьезометра.

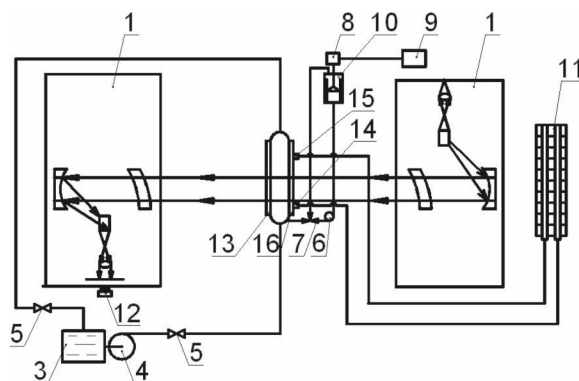


Рис. 2. Схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка (рис. 2) состоит из следующих элементов: 1 – прибор ИАБ-453; 2 – модель коалесцирующей насадки (загрузки); 3 – емкость для воды; 4 – насос подачи воды; 5 – вентиль; 6 – насос дозатор; 7 – трехходовой кран; 8 – мешалка; 9 – регулятор скорости мешалки; 10 – бак; 11 – пьезометр; 12 – фотоаппарат; 13 – оптические стекла модели коалесцирующей насадки; 14, 15 – штуцера для отбора импульса давления [2, 3].

Опыты проводятся в следующей последовательности [2, 3]:

- проводится юстировка оптической камеры с помощью лазерной установки типа ЛГ-75.

- настройка приборов ИАБ-453 на воздух согласно действующим правилам, приведенным в технических условиях эксплуатации приборов [4];

- настройка приборов на оптическую модель загрузки без жидкости [4];

- настройка приборов на оптическую модель загрузки с жидкостью [4];

- включается механическая мешалка 8;

- включается насос 6; узел подготовки дозированной эмульсии работает по схеме: емкость 10 – насос 6 – емкость 10 в течение 15 минут;

- фотоаппарат «Зенит Е» стационарно закрепляется на объективе прибора ИАБ-453;

- с включением центробежного насоса НБ 1,5/20 «Кама 4» и открытием вентиля 5 производим подачу воды, устанавливаем заданную скорость фильтрации; фиксируем потери напора по пьезометру;

- открытием крана 7 производится дозировка эмульсии в оптическую модель насадки;

- с момента окончания стабилизации потока начинается визуальное наблюдение и фиксация на фотопленку процесса фильтрации воды (эмульсии) через модель загрузки. Одновременно фиксируются потери напора в загрузке и расход жидкости объемным методом.

Для каждого режима (скорости) фильтрации опыты повторяются не менее 3-х раз. После окончания опытов жидкость из установки и трубопроводов сливается в емкость 10.

Применение оптических методов в настоящих исследованиях можно обосновать их преимуществами перед зондовыми. Прежде всего, оптическое зондирование не вносит искажений в исследуемую среду. Оно позволяет визуализировать и фиксировать в виде интерферограммы или тенеграммы картину процесса в целом. Кроме того, оптические методы практически не имеют инерционных погрешностей, что дает возможность выполнять точные измерения быстропротекающих процессов. Однако, подобно всем другим методам измерения, оптические методы имеют ограниченную область применения и не являются универсальными. Например, исследуемая среда должна быть прозрачной для светового излучения. Если среда отличается от атмосферного воздуха, то требуется замкнутая система, ограниченная с двух сторон оптическими стеклами, чтобы луч света, проходящий через них и исследуемую среду, не искажался из-за неоднородностей в теле стекла или на его поверхностях [4, 5].

Оптические методы (теневые и интерференционные) дают поле показателя преломления среды n , причем они чувствительны к изменению n порядка $\Delta n = 10^{-6}$. Эти методы можно использовать при изучении неоднородностей, например, в воде, возникающих при местном перепаде давления на 0,1 атм. на длине 1 см или изменении температуры на 0,02°C [4, 5].

Оптические методы, основанные на влиянии показателя преломления среды на пучок света, проходящей сквозь нее, делятся на три группы:

- теневые, регистрирующие смещение светового луча после прохождения им объекта;

- шпирен-методы, использующие отклонение светового луча в исследуемом объекте;

- интерференционные, фиксирующие разность длин оптических путей или запаздывание по фазе двух лучей, один из которых прошел сквозь объект, а другой – нет.

Оптические методы находят все более широкое применение для изучения огромного числа явлений. Вполне оправданным является их использование для исследования процессов очистки НСВ (разрушение эмульсии), изучение полей температур, давлений, концентраций различных примесей.

Оптические методы позволяют: вести фотографирование, киносъемку процессов, потока воды с движущимися в нем механическими примесями, нефтяными частицами и газовыми (воздушными) пузырьками; изучать характер движения нефтяных частиц и примесей; изучать характер взаимодействия примесей друг с другом и с поверхностью испытываемого материала; изучать возникновение и рост нефтяных капель, газовых пузырьков и др. для снижения давления; изучать и фиксировать возникновение и накопление примесей на поверхностях и в объеме эмульсии и исследовать их взаимодействия; изучать и фиксировать сближение, столкновение и слияние (коалесценцию) нефтяных частиц в объеме эмульсии и на поверхностях материалов; изучать и фиксировать разрушение бронирующих оболочек, изменения формы и удельной поверхности примесей; изучать адгезионные и другие процессы в объеме эмульсии; изучать гидродинамическую обстановку в трубопроводах аппаратах, местных сопротивлениях и т.д.

Исследования проводятся на моделях сооружений, аппаратов, трубопроводов, местных сопротивлений и т.д. Такие исследования тем более ценны потому, что оптические методы до сих пор не получили достаточно широкого распространения вследствие ограниченного числа оптических приборов имеющихся в распоряжении исследователей и их дороговизны. Кроме того оптические приборы с высокой разрешающей способностью громоздки, вследствие этого они, как правило, выпускаются отечественной и зарубежной промышленностью в стационарном исполнении. Поэтому применение приборов непосредственно на производственных объектах затруднено или невозможно по условиям их эксплуатации, что также обуславливает недостаточность распространения оптических методов в целом.

В настоящих исследованиях нами использован так называемый шлирен-метод являющийся модифицированным вариантом теневого метода.

Оптическую систему, дающую изображение изучаемой области с неоднородным распределением плотности, местная (или локальная) освещенность которого зависит от разности между углом падения и углом выхода луча из этой области, относят к классу шлирен-приборов.

В схеме Теплера шлира просвечивается не сходящимся, а параллельным пучком света. Шлирен-система Теплера с вогнутыми зеркалами, на основе которой построен прибор ИАБ-453, схематически показана на рис. 3 [4, 5].

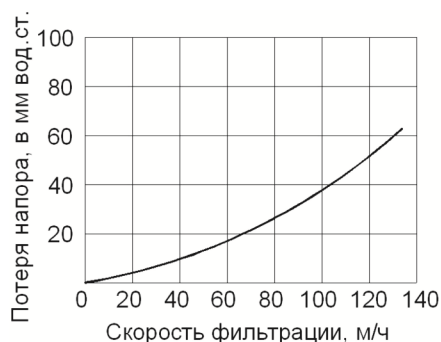


Рис. 3

Прежде чем выполнять эксперименты с применением прибора ИАБ-453 с использованием модели коалесцирующей загрузки, оптическая камера должна быть очень точно настроена (юстирована). Юстировка камеры возможна при наличии высококачественных защитных стекол. Стекла не должны иметь каких-либо неоднородностей внутри, и их поверхности должны быть отшлифованы с высокой чистотой с обеих сторон, и обе поверхности должны быть строго параллельны, так как клиновидность поверхностей стекол нарушает ход световых лучей. Должна быть строго выдержана взаимная параллельность двух плоскопараллельных стекол, в противном случае на пути светового пучка возникает так называемый «водяной» клин, и правильная

настройка прибора ИАБ-453 с камерой становится невозможной. Модель коалесцирующей насадки (с оптическими стеклами) должна быть установлена точно перпендикулярно к световому пучку.

Юстировка оптических стекол камеры и самой модели в приборах была осуществлена авторами с помощью узкого лазерного луча. Юстировка состоит в следующем. Собранный аппарат устанавливается таким образом, чтобы луч света от лазера попадал примерно в центральную часть камеры. На пути лазерного луча, между лазером и камерой, помещается непрозрачный экран, в котором имеется отверстие диаметром не более 2 мм. Диаметр отверстия выбирается как можно меньше для высокой точности настройки. Однако через отверстие должен пройти луч такой интенсивности, которая была бы достаточной для наблюдения отраженных от поверхностей стекол лучей. В камере установлены два стекла, следовательно имеются четыре поверхности, которые будут отражать падающий на них узкий пучок света. Отраженные лучи пойдут в направлении, противоположном направлению падающего луча, т.е. попадут на установленный экран. Если каждое стекло представляет собой плоскопараллельную пластину, то вместо четырех точек на экране будут только две, причем в каждую из них придут два луча от обеих плоскостей защитного стекла. Если этого не происходит, значит стекла имеют клин, и такие стекла непригодны для работы. Наличие на экране двух световых пятен свидетельствует о пригодности стекол к дальнейшей юстировке камеры, модели в целом. При этом, если на экране наблюдается два пятна это говорит о том, что стеклянные пластины не параллельны друг другу. Поэтому их взаимное расположение необходимо отрегулировать. Регулировка стекол 13 в камере осуществляется с помощью крепежных шпилек (рис. 2), которые можно поджать или ослабить. Такую регулировку производят до тех пор, пока оба световых пятна не совпадут. Чем меньше будет размер пятен, тем точнее произведена регулировка. Когда от всех четырех поверхностей оптической камеры модели получится один отраженный луч, тогда юстировка камеры считается законченной [2, 3].

Настроенная модель коалесцирующей насадки помещается в рабочее пространство оптического прибора на регулируемой монтажной станине (предметном столе) ИАБ-453. Перед экспериментом необходимо юстировать налаженную камеру относительно прибора. Для этого необходимо добиться совпадения хода лучей, падающих на камеру модели и отраженных от нее; то есть в приборе сформировать узкий пучок света, на его пути снова устанавливается непрозрачный экран с отверстием, и подвижками на предметном столе отрегулировать положение модели, чтобы отраженный пучок света точно падал в отверстие экрана. В этом случае камера будет установлена относительно прибора правильно [2, 3].

Юстировка проводилась с помощью гелий-неонового лазера ЛГ-75 непрерывного действия, излучение которого происходит в красной области спектра на длине волны 6328 А.

В проведенных нами настоящих экспериментальных исследованиях требовалось правильно выбрать источник света и величину времени экспозиции, а также четкой синхронизации источника и фотоаппаратуры.

При исследованиях с использованием шпирен-методов в оптической схеме реализующих этот метод, могут быть применены источники света, не обладающие высокой пространственной и временной когерентностью. Нами в экспериментах в качестве источника света применена ртутная лампа с фильтром типа ДРШ-250 с монохроматическим (зеленым) излучением.

Для исследования стационарных (медленно изменяющихся во времени) процессов применимы любые источники света, обладающие достаточной яркостью излучения.

Широкое распространение получили различные лампы накаливания большой мощности, а, при необходимости, иметь источник монохроматического излучения, применяются ртутные лампы с фильтрами. Однако для шпирен-метода необходимость монохроматического света возникает очень редко [4, 5].

Для исследования нестационарных процессов используются импульсные источники света короткой длительности, так как регистрация такого класса явлений осуществляется фотографическим путем. И если величина экспозиции будет больше необходимой, все изображение смажется. При изучении довольно большого круга явлений, например, образования турбулентных пограничных слоев, экспозиции должны быть значительно меньше 1 мкс [4, 5].

Мгновенное фотографирование теневых изображений проводилось фотоаппаратом типа «Зенит Е», с помощью которого обеспечивается продолжительность экспозиции от 1:60 до 1:125 с, при чувствительности фотопленки 250 единиц.

На экспериментальной установке (рис. 2) проведены исследования, структуры фильтрационного потока и механизма процесса коалесценции при скоростях фильтрации от 5 до 140 м/ч [2, 6].

Опыты проводились в два этапа. При одних и тех же условиях сначала изучалась структура фильтрационного потока, а затем механизм процесса коалесценции. Для визуализации изучения структуры потока применялась эмульсия типа «вода + формидрон», а для изучения механизма процесса коалесценции – «нефтяная эмульсия».

При исследованиях замерялись потери напора в коалесцирующей загрузке и построена зависимость $h=f(V_{\phi})$ (рис. 3). Из графика видно, что ламинарный режим течения жидкости наблюдается примерно до 30 м/ч.

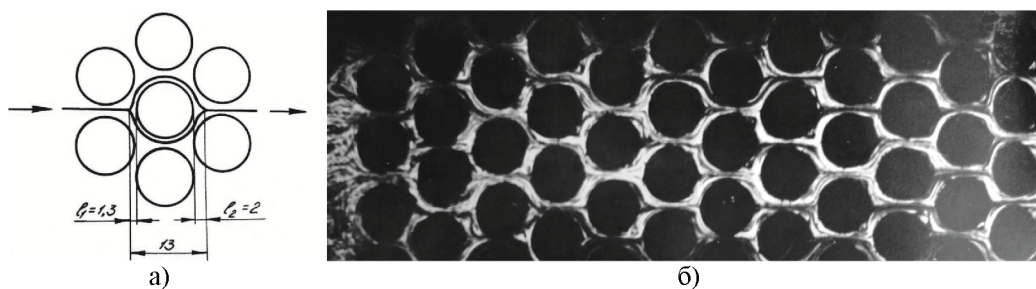


Рис. 4. Структура фильтрационного потока при ламинарном режиме, $V_{\phi} = 15,4$ м/ч:
а) схема, б) тенеграмма

При исследованиях структуры фильтрационного потока установлено следующее: при скорости фильтрации 5-30 м/ч (режим ламинарный) (рис. 4) поток плавно обтекает гранулы, проходит по сечению равномерно. Стабилизация потока происходит на расстоянии около 15-25 мм. Элементы фильтрационного потока, набегающие на гранулу, приобретают некоторое боковое ускорение. Перед гранулой фильтрационный поток смыкается на расстоянии 1 мм от гранулы ($l_1=1,3$ мм), а за гранулой на расстоянии около 2 мм ($l_2=2$ мм) от гранулы. Практически расстояния смыкания потока до и после гранулы отличаются незначительно, что можно объяснить незначительностью (слабостью) инерционных сил [2, 3].

С возрастанием скорости фильтрации возрастает запаздывание смыкания элементов фильтрационного потока до и после гранул. При скорости фильтрации около 50 м/ч стабилизация потока происходит на расстоянии около 45-55 мм.

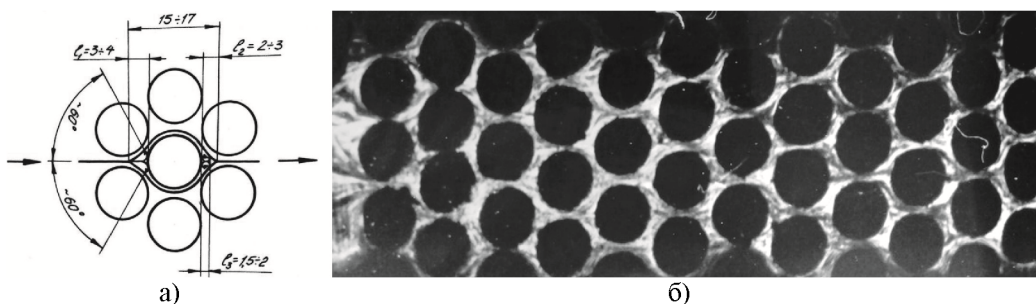


Рис. 5. Структура фильтрационного потока при $V_{\phi} = 51,2$ м/ч: а) схема, б) тенеграмма

Элементы фильтрационного потока (рис. 5) набегающие на гранулу, смыкаются на расстоянии 3-4 мм ($l_1=3-4$ мм) от гранулы и разделяются на несколько частей, т.е. часть потока с двух сторон обтекает гранулу, а часть практически соударяется с гранулой, отклоняется от него влево и вправо под углом около 60° к направлению фильтрационного (основного) потока. Элементы потока, обтекающие гранулу, приобретают боковое ускорение, образуют вихревые зоны после гранулы на расстоянии около 1,5-2 мм ($l_3=1,5-2$ мм), которые закручиваются против направления фильтрационного потока (основного). Смыкание потока гранулы происходит на расстоянии 2-3 мм ($l_2=2-3$ мм) [2, 3].

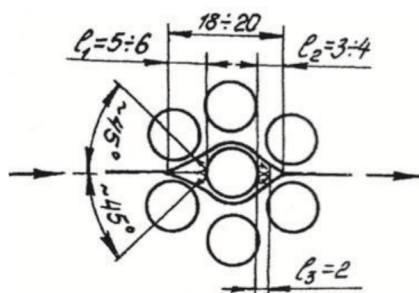


Рис. 6. Структура фильтрационного потока при $V_\phi=60,8$ м/ч

При скоростях фильтрации $V_\phi = 60-80$ м/ч стабилизация потока происходит на расстоянии около 60-65 мм (рис. 6). Элементы фильтрационного потока, набегающие на гранулу, при этих скоростях смыкаются на расстоянии около 5-6 мм ($l_1= 5-6$ мм) от гранулы, образуя вытянутую форму струи, которая разделяется на несколько частей: часть потока с двух сторон обтекает гранулу, а часть под действием инерционных сил соударяется с гранулой, отклоняется от него налево и на право под углом около 45° к основному потоку. Смыкание потока после гранулы происходит на 7-8 ряду на расстоянии около 3-4 мм ($l_2= 3-4$ мм). До и после гранул на расстоянии до 2 мм ($l_3= 2$ мм) от гранулы образуются вихревые зоны. Направление закручивания вихрей до гранул – против основного потока, после гранул - по направлению основного потока [2, 3].

При больших скоростях 80-140 м/ч стабилизация потока происходит на расстоянии около 70-80 мм. Элементы фильтрационного потока (рис. 7), набегающие на гранулу, до и после гранулы смыкаются симметрично на расстоянии 5 мм ($l_1=l_2=5$ мм). Поток перед гранулой разделяется на несколько частей, одна обтекает гранулу, а другая соударяется с гранулой; образуются вихревые зоны на расстоянии до 2,0-2,5 мм до гранул, которые закручиваются против течения основного потока. Элементы потока, обтекающие гранулу за гранулой образуют вытянутую спиральную струю на расстоянии около 4-5 мм от гранулы ($l_3 = 4-5$ мм). Угол отклонения струй от гранул не более 30° . Спиральная струя, в основном, вытянута до точки смыкания [2, 3].

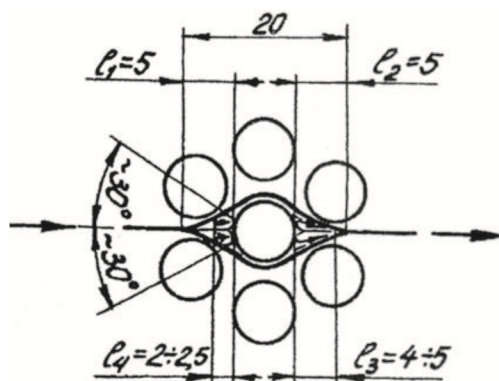


Рис. 7. Структура фильтрационного потока при турбулентном режиме: $V_\phi=136$ м/ч

Анализ тенеграм структуры фильтрационного потока показал: длина пути стабилизации фильтрационного потока увеличивается с увеличением скорости фильтрации; при изменении скорости фильтрации от 15 м/ч до 140 м/ч длина стабилизации возросла в среднем, примерно, от 20 мм до 75 мм [2, 3].

При тех же скоростях фильтрации расстояние смыкания увеличилось в среднем, примерно, от 1,6 мм до 5,0 мм; расстояние смыкания перед гранулой несколько больше, чем за гранулой. При скорости около 140 м/ч наблюдалась, примерно, симметрия фильтрационного потока, т.е. расстояние смыкания перед и за гранулами составило около 5 мм. Начиная со скорости фильтрации, примерно, с 40-45 м/ч перед и за гранулами образуются вихревые зоны (с вихревыми кольцами), размеры которых увеличиваются с увеличением скорости фильтрации, причем размер вихревых зон за гранулами больше, чем перед гранулами. Вихревые кольца отрываются от гранул с некоторым углом уменьшающимся с увеличением скорости фильтрации. Плотность и интенсивность (скорость) вихрей (колец) увеличиваются с увеличением скорости фильтрации. При скорости фильтрации около 140 м/ч и более вихревые кольца отрываются от гранул и образуют вытянутую спиральную струю. Вихревые кольца до гранул закручиваются против направления фильтрационного потока, после гранул – по направлению потока [2, 3].

При всех скоростях фильтрации элементы фильтрационного потока, набегающие на гранулы, приобретают некоторое боковое ускорений которое увеличивается с увеличением скорости фильтрации.

При изучении механизма процесса коалесценции получены следующие результаты [2, 6].

В установившемся фильтрационном потоке, направленном снизу вверх при скоростях фильтрации до 30 м/ч, видимые частицы нефти движутся по направлению потока с некоторым ускорением и со скоростью, опережающей скорость распространения фронта тенеграммы струи (линии тока).

Частицы ускоряются до тех пор, пока не достигнут конечной скорости, большей чем скорость распространения фронта тенеграммы струй. Ускорение частиц больше (максимально) в первый момент, т.е. в начале загрузки, после прохождения области стабилизации и уменьшается по мере приближения к конечному значению. По мере коалесценции (укрупнения) частиц скорость их движения увеличивается.

Исследования показывают, что с изменением скорости фильтрации от 5 до 136 м/ч выделяются три разновидности механизма процесса коалесценции.

При скоростях фильтрации 5-20 м/ч (до 30 м/ч) частицы нефти с начала пути, накапливаются на лобовой поверхности гранул, постепенно сползая на боковую поверхность в виде подвижной ассоциации частиц, движущейся в направлении фильтрационного потока. На поверхности гранул наблюдается выраженная межкапельная коалесценция и частичное незначительное растекание по поверхности гранул пленки нефти. В основном, процесс укрупнения частиц нефти происходит в пределах высотой 100-110 мм. На поверхности гранул частицы укрупняются диаметром до 3-4 мм и уносятся фильтрационным потоком. Наиболее интенсивный процесс коалесценции наблюдается на лобовой и боковых поверхностях гранул. Общее количество частиц в пористом пространстве загрузки (в единице межзернового объема) уменьшается, увеличивается полидисперсность эмульсии, уменьшается вероятность эффективного столкновения частиц и процесс коалесценции в последующих рядах загрузки (более 3/4 высоты загрузки) менее интенсивен, незначителен. Практически коалесценция частиц происходит в загрузке высотой 100-110 мм, что составляет около 1/4 части загрузки, далее этот процесс резко замедляется.

При скоростях фильтрации 30-60 м/ч частицы нефти, начиная с первого ряда, накапливаются на лобовой поверхности гранул, одновременно сползая на боковую поверхность. Наблюдается межкапельная коалесценция в потоке и на поверхности гранул. Наблюдается ярко выраженная деформация частиц, частицы нефти сплюснутые. При достижении частиц размера диаметром 1-2 мм в пределах первых 15-17 рядов уносятся фильтрационным потоком.

Далее в потоке появляются частицы нефти диаметром 3-4 мм. Наблюдается накопление частиц нефти, в основном, в зонах завихрения, причем в вихревых зонах

перед гранулами накапливается частиц больше, чем зонах после гранул. В этих же зонах, а также в потоке между поверхностями гранул происходит более интенсивная межкапельная коалесценция. Примерно в первой половине загрузки наблюдается менее полидисперсная эмульсия. Область интенсивной коалесценции составила около половины высоты загрузки при скорости фильтрации 50-60 м/ч.

При скоростях фильтрации 60-130 м/ч (особенно при скоростях фильтрации около 100 м/ч и более) наблюдается соударение частиц нефти с лобовой поверхностью гранул. Частицы нефти в виде отрывистых пленок сползают по боковой поверхности на тыльную сторону гранул, накапливаются в вихревой зоне. Но мере накопления и укрупнения частицы уносятся потоком. Практически вся поверхность гранул работает как инверсирующая поверхность. Коалесценция происходит почти одинаково эффективно по всей высоте загрузки. Происходит межкапельная коалесценция на поверхности гранул вихревых зонах и в пространствах между гранулами. На выходе из загрузки эмульсия менее полидисперсна и основная масса частиц нефти представлена диаметром 1-2 мм.

Анализ результатов исследований позволяет описать механизм процесса коалесценции следующим образом: механизм процесса коалесценции - при ламинарном режиме фильтрации (скорость фильтрации 5-30 м/ч) за счет гидродинамических сил потока и адгезионных сил частицы нефти накапливаются на боковой поверхности гранул, сползают по боковой поверхности. На поверхности гранул наблюдается выраженная межкапельная коалесценция и частичное незначительное растекание по поверхности гранул пленки нефти.

По мере накопления и укрупнения частицы нефти с боковой поверхности гранул уносятся за счет гидродинамических сил фильтрационного потока.

При турбулентном режиме фильтрации частицы нефти, поступая в загрузку за счет гидродинамических и инерционных сил потока соударяются с лобовой частью гранул, растекаясь по поверхности гранул, в виде отрывных пленок сползают по ней на тыльную сторону гранул, накапливаясь и укрупняясь в вихревой зоне за гранулами. Происходит наиболее интенсивная и эффективная межкапельная коалесценция в пространстве между гранулами, в вихревых зонах за гранулами и на поверхности гранул. На выходе из коалесцирующей загрузки эмульсия более монодисперсна. При высоких скоростях фильтрации частицы нефти, в основном, переносятся потоком, более подвержены воздействию турбулентных пульсаций фильтрационного потока и процесс формирования частиц определяется в основном гидродинамическими силами, действующими в потоке, и инерционными столкновениями.

При фильтрации НСВ через коалесцирующую крупнозернистую загрузку имеет место движение системы нефтяных частиц и движение среды вокруг частиц. При высоких скоростях фильтрации (турбулентный режим) и высокой концентрации частиц нефти в единице объема среды замечено, что среда между частицами движется вместе с ними, а при низкой концентрации наблюдается движение среды между частицами, частицы в поверхностном слое гранул загрузки движутся медленнее. Замечено также что, особенно при высоких скоростях фильтрации, частицы нефти, переносимые фильтрационным потоком, и в вихревых зонах деформируются, изменяют форму и ориентацию. Степень деформации и ориентация частиц зависят от размеров частиц, места нахождения частиц в потоке, в объеме вихревых зон при каждом режиме фильтрации. В основном, наблюдается неустойчивая ориентация: одни частицы движутся зигзагообразно, другие вращаются вокруг оси, движутся по спирали, совершают боковое скольжение и т. д. Такое обстоятельство в определенной мере увеличивает вероятность столкновения частиц, интенсифицируя процесс коалесценции.

Замечено, что мелкие и более крупные частицы (видимые в пределах решающей способности принятого нами метода) взаимодействуют с поверхностью гранул в результате действия механизма инерционного соударения. Нами при принятой структуре модели коалесцирующей загрузки опробированы структуры с расстоянием между гранулами 2-7 мм. Замечено, что при принятой структуре модели загрузки с расстоянием между гранулами 2 мм и высоких скоростях большинство из всех видимых частиц нефти совершают столкновение с лобовой поверхностью гранул.

При рассматриваемых режимах фильтрации НСВ в коалесцирующей насадке одновременно могут происходить процессы дробления и коалесценции частиц нефти, интенсивность которых различна в разных точках загрузки. Силы, противодействующие разрушению частиц нефти, обусловлены структурно-механической прочностью поверхностных адсорбционных слоев дисперсной фазы, т.е. бронирующих оболочек на частицах нефти. Структура поверхностных слоев на границе «нефть-вода» сложна и многообразна по компонентному составу. Поверхностные слои бронирующих оболочек обладают аномальной вязкостью, возрастающей во времени в сотни и тысячи раз, что приводит к увеличению стойкости («старению») эмульсии [7, 8, 9, 10].

Список библиографических ссылок

1. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика / Под общей редакцией Лейбензона. – М. – Л.: Гостоптехиздат, 1949. – 522 с.
2. Урмитова Н.С. Интенсификация процессов очистки нефтесодержащих сточных вод на основе применения гранулированных коалесцирующих материалов. Дис. канд. наук. – Казань.: КИСИ, 1993. – 212 с.
3. Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Использование гидродинамических насадок с крупнозернистой загрузкой для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. Монография. – Казань: КГАСА, 1997. – 249 с.
4. Аbruков С.А. Теневые и интерференционные методы исследования неоднородности. – Казань: Издательство Казанского университета, 1962. – 83 с.
5. Ладенбург Р.У. Физические измерения в газовой динамике. – М.: Наука, 1957.
6. Адельшин А.Б., Урмитова Н.С., Сафиуллин Р.К. Механизм процесса коалесценции и особенности разрушения нефтяных эмульсий при движении их через коалесцирующую насадку: Исследование сетей, аппаратов и сооружений водоснабжения и канализации // Межвуз. Сб. науч. трудов. – Казань, 1994. – С. 83-92.
7. Тронов В.П. Разрушение эмульсии при добыче нефти. – М.: Недра, 1974. – 272 с.
8. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – М.: Недра, 1977. – 270 с.
9. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. – М.: Недра, 1982. – 221 с.
10. Каспарян К.С. Промысловая подготовка нефти и газа. – М.: Недра, 1973. – 373 с.

Adelshin A.B. – doctor of technical sciences, professor

Urmitova N.S. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: urmitova@mail.ru

Adelshin A.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: a566pm@rambler.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Structure and mechanism of seepage coalescence process in hydrodynamic nozzles with coarsely granular component

Resume

During filtration the water through the coalescent components of granular materials in seepage flow observed different types of deformation of the velocity field, the formation of stagnant zones turbulence and secondary flows, dissipative processes, and the forces of inertia in the seepage flow lead to additional energy losses.

When creating a favorable filtration mode these circumstances can be implemented in the process of restructuring the internal phase emulsion oil (EI), in particular, in the processes of coalescence of oil particles emulsified in EI.

It is noticed that smaller and larger particles interact with the surface of the granules as a result of the inertial collision mechanism. Center for the adopted model structure coalescing components exercises structure with the distance between the granules of 2-7 mm. It is noticed that the structure of the model adopted by the distance between the loading granules 2 mm high speeds and most of all visible particles of oil make a collision with the frontal surface of the granules.

When consideration modes of filtration EI in coalescing nozzle can occur simultaneously crushing processes and coalescence of oil particles, the intensity of which varies in different parts of the components. Forces opposing the destruction of the oil particles due to structural-mechanical strength armoring shells on the particles of oil. The structure of the surface layers on the boundary «oil-water» complex and diverse for component composition. Surface layers of armoring shells have abnormal viscous, increasing in time in the hundreds and thousands times, which leads to increased firmness («aging») of the emulsion.

Keywords: filtration flow, oil emulsions, coalescence model nozzles, structure of filtration flow, coarse components, granules.

Reference list

1. Shchelkachev V.N., Lapuk B.B. Underground hydraulics / Edited Leibenson. – M. – L: Gostoptekhizdat, 1949. – 522 p.
2. Urmitova N.S. Intensification of oily waste water through the use of coalescing granular materials. Dissertation candidate of sciences. – Kazan: KISI, 1993. – 212 p.
3. Adelshin A.B., Urmitova N.S. Use of hydrodynamic nozzles with coarsely granular component to intensify treatment of oily wastewater. Monograph. – Kazan: KGASA, 1997. – 249 p.
4. Abrukov S.A. Shadow and interference methods research heterogeneity. – Kazan: Publisher Kazan University, 1962. – 83 p.
5. Ladenburg R.U. Physical measurement of the gas dynamics. – M.: Nauka, 1957.
6. Adelshin A.B., Urmitova N.S., Safiullin R.K. The mechanism of the coalescence process and especially the destruction of oil emulsions as they move through the coalescing tip: Research networks, equipment and water supply and sanitation // Interuniversity compilation of scientific works. – Kazan, 1994. – P. 83-92.
7. Thrones V.P. Destruction of emulsion oil. – M.: Nedra, 1974. – 272 p.
8. Thrones V.P. Oilfield preparation of oil. – M.: Nedra, 1977. – 270 p.
9. Pozdnyshev G.N. Stabilization and destruction of oil emulsions. – M.: Nedra, 1982. – 221 p.
10. Kasparian K.S. Oilfield preparation of oil and gas. – M.: Nedra, 1973. – 373 p.