

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ адсорбционная ОЧИСТКА воды от углеводородных ПРИМЕСЕЙ с ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ дискового фильтра с ПЕРЕМЕННОЙ СКОРОСТЬЮ ПОТОКА

Разработана конструкция фильтра для очистки нефтесодержащих вод, основанная на принципе трансформирования турбулентного потока жидкости в ламинарное течение.

Этот принцип реализован с помощью перфорированных дисков, расположенных в корпусе фильтра на определенном расстоянии между собой. Проведена оптимизация конструкционно-структурных вариантов фильтра, соответствующих наивысшей адсорбционной емкости фильтрующего волокнистого материала. Выявлены некоторые закономерности изменения адсорбционной емкости фильтра в зависимости от его конструктивных параметров, физико-химических свойств сорбента, природы углеводородного загрязнителя и гидродинамических условий фильтрования воды, содержащей углеводородные примеси.



Введение

Углеводородное сырье является одним из основных загрязнителей окружающей среды. Известно, что один литр нефти загрязняет 1000 м³ воды. Загрязнение воды нефтью в таких пропорциях обусловлено присутствием в нефти природных поверхностно-активных веществ (**ПАВ**), с помощью которых образуются стабильные эмульсии. Применение промышленных ПАВ для увеличения добычи нефти еще более усугубляет проблему очистки воды в нефтепромысловых районах. Обычно сточные воды, загрязненные нефтью и нефтепродуктами, очищают в несколько стадий. На первой стадии сточные воды подвергают грубой очистке — фильтрованию через механические фильтры, коагуляции, флотации [1]. Более тонкая очистка

З.Т. Дмитриева*, доктор химических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук

сточных вод осуществляется фильтрацией через тонкопористые фильтры [2] и осветлительно-сорбционные фильтры с комбинированным слоем фильтрующей загрузки [3]. Фильтрующий материал должен иметь пористость не менее 90...98% (об.), большую сорбционную емкость, хорошие адгезионные свойства. Многие из этих свойств присущи волокнистым материалам, на основе которых разработаны высокоемкие адсорбенты многократного использования для сбора нефтепродуктов с поверхности воды с емкостью 25...45 г/г адсорбента [4]. Однако сорбционная способность тех же материалов при сплошной загрузке адсорбента в корпусе фильтра в условиях фильтрования углеводородсодержащих вод в лучшем случае достигает 1 г загрязнителя на 1 г адсорбента. При очистке воды в этих условиях «работает» только верхний тонкий слой адсорбента, после насыщения которого жирными углеводородами происходит так называемое «запирание» фильтра. Это при-

*Адрес для корреспонденции: ztd@ipc.fsc.ru

водит к тому, что слой волокнистого материала имеет наибольшую эффективность при некоторой толщине. Фильтр с толщиной слоя больше этой толщины становится непроницаемым для микрокапель органических загрязнителей, а емкость фильтрующего материала при этом резко понижается. Основываясь на этом принципе, нами разработана оригинальной конструкции дисковая (слоистая) насадка к напорному фильтру, позволяющая в динамических условиях увеличить емкость обычного волокнистого материала до 18 г нефтепродуктов на 1 г адсорбента [5, 6].

С целью подбора оптимальных условий очистки воды от углеводородных загрязнителей, с учетом комплекса параметров фильтрующей системы исследована ее эффективность в зависимости от конструктивно-структурных параметров фильтра, физико-химической природы адсорбента и сорбата, и выявлены некоторые закономерности сорбции углеводородов из воды в динамических условиях.

Материалы и методы исследования

Фильтрование загрязненной воды проводили на установке, содержащей напорный, слоистый фильтр, перистальтический насос, расходомер нефтепродуктов и

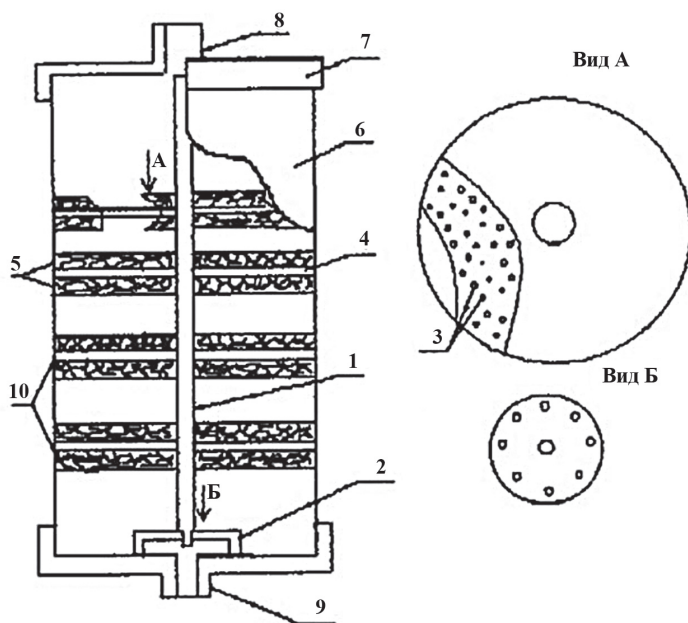


Рис. 1. Принципиальная конструкция фильтра:
1 – стержень; 2 – ограничитель; 3 – перфорация дисков; 4 – перфорированные диски; 5 – фильтрующий материал; 6 – корпус фильтра; 7 – крышки; 8 – входной патрубков; 9 – выходной патрубков; 10 – попарно расположенные перфорированные диски.

Ключевые слова:
фильтр, адсорбент, структура, параметры фильтрации

воды, автоматический дозатор нефтепродуктов. Скорость воды изменяли от $1,415 \cdot 10^{-3}$ до $5,659 \cdot 10^{-3}$ м/с. Степень загрязнения воды углеводородами варьировали в пределах $0,025 \dots 0,200$ кг/м³. В качестве адсорбентов использовали нетканые, синтетические, волокнистые материалы с плотностью $45 \dots 54$ кг/м³ и толщиной волокна $5 \dots 7$ мкм. Волокнистый носитель дополнительно содержит активное сорбирующее вещество (АСВ), в качестве которого использовали смесь фракций алкилкарбоновых кислот $C_{10} - C_{16}$, $C_{17} - C_{20}$, $C_{21} - C_{25}$ и гидрофобный компонент, выбранный из группы: парафин, полибутадиен, полиизобутилен, полиизопрен, атактический полипропилен [4]. Содержание нефтепродуктов в воде определяли методом газожидкостной хроматографии. Фильтрование проводили до достижения 99%-ной степени очистки воды от нефтепродуктов. Перепад давления в фильтрующей установке измеряли с помощью манометра. Скорость фильтрования воды регулировали с помощью перистальтического насоса. Определение общей пористости (W), коэффициента проницаемости (D), среднего радиуса пор (r) фильтрующих материалов проводили по методикам, приведенным в [7]. Емкость фильтрующей системы рассчитывали по формуле:

$$E = m_z / m_c \quad (1)$$

где m_z – масса загрязнителя, извлеченного сорбентом из воды, г; m_c – общая масса адсорбента, помещенного в фильтр, г.

Результаты и их обсуждение

Фрагмент разработанной принципиальной конструкции и структуры фильтра для очистки воды от нефтепродуктов представлен на рис. 1. Фильтр цилиндрической формы содержит корпус 6 с входным 8 и выходным 9 патрубками и крышками 7. Внутри корпуса герметично размещена съемная фильтрующая насадка, состоящая из стержня 1 с ограничителем 2 на одном конце. На стержне на определенном расстоянии друг от друга смонтированы перфорированные (3, вид А) диски 4. На поверхности дисков с обеих сторон закреплен сорбирующий материал 5, изготовленный из синтетических волокон. Диски изготовлены из металлического (нержавеющего) или пластмассового материала. Приготовленную таким образом фильтрующую насадку помещают в корпус 6 фильтра,

концы которого закрывают крышками 7 с патрубками 8, 9. Через патрубок 8 с помощью нагнетательного насоса на фильтр подают нефтесодержащую воду. После фильтрации очищенная вода отводится через патрубок 9. Внутренний диаметр лабораторного фильтра 0,05 м, высота 0,245 м, объем 0,481 м³.

Фильтрующая насадка представляет собой съемный элемент конструкции, что облегчает перезарядку фильтра и делает его применение технологичным. Структуру фильтрующей насадки можно варьировать — изменять число фильтрующих слоев, расстояние между этими слоями, расположение фильтрующих слоев относительно друг друга и относительно входного патрубка и получать при этом несколько вариантов структуры фильтра.

Первый вариант структуры фильтра состоит в том, что насадка содержит 8 фильтрующих дисков (слоев) с диаметром перфорации дисков 1 мм. Диски расположены равномерно на расстоянии 20 мм друг от друга и 30 мм от входного патрубка. Этот вариант фильтра был испытан при скорости фильтрования нефтесодержащей воды $5,659 \cdot 10^{-3}$ м/с, степени загрязнения ее дизельным топливом 0,1 кг/м³ и наклоне фильтра относительно горизонтальной оси 15°. В качестве сорбирующего материала исследовали полиакрилонитрил (нитрон), равномерно распределенный на перфорированных дисках. В этих условиях емкость фильтрующего материала (E), не содержащего АСВ, в зависимости от его массы (m_c) и толщины слоя адсорбента на диске изменяется экстремально (рис. 2, кривая 1). Внедрение в пористую матрицу АСВ до 0,2% (мас.) не изменяет форму зависимости емкости фильтра от массы адсорбента $E(m_c)$, хотя и уменьшает массу адсорбента, соответствующую экстремуму (кривая 2). При содержании АСВ в адсорбенте > 0,2% (мас.) емкость фильтра изменяется обратно пропорционально массе фильтрующего материала (кривые 3–5): при уменьшении массы адсорбента емкость фильтра возрастает. Если емкость фильтрующей системы относительно массы адсорбента, содержащего АСВ больше 0,2% (мас.), и толщины слоя волокнистого материала на диске изменяется обратно пропорционально (рис. 2, кривые 3–5), то от содержания АСВ (C) в адсорбенте, при массах волокнистого материала 1...3 г, она зависит экстремально (рис. 3, кривые 1–3). С ростом массы адсорбента до 4 и 5 г добавление АСВ в его матрицу не сказывается на эффективности фильтра, значение емкости фильтрующего материала при этом остается практически неизменным (кривые 4, 5).

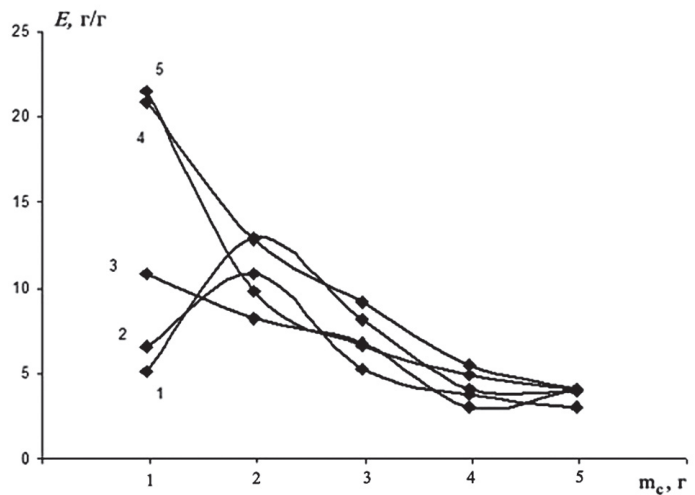


Рис. 2. Зависимость емкости фильтра от массы адсорбента при содержании в нем АСВ, % (мас.): 1 — 0; 2 — 0,2; 3 — 1,0; 4 — 0,7; 5 — 0,5.

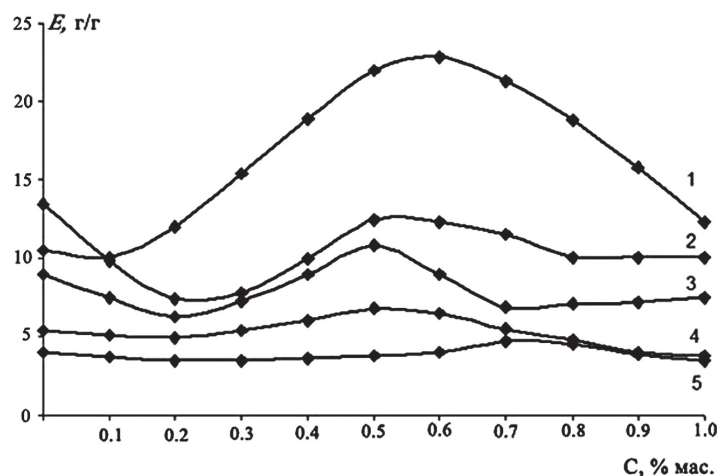


Рис. 3. Зависимость емкости фильтра от содержания АСВ в матрице волокнистого материала при различных массах адсорбента, г: 1 — 1; 2 — 2; 3 — 3; 4 — 4; 5 — 5.

Из анализа зависимостей $E(m_c)$ и $E(C)$ следует, что в первом структурном варианте фильтра максимальное значение сорбционной способности фильтрующего материала достигается при общей массе адсорбента 1 г, толщине слоя адсорбента на диске 2 мм и содержании АСВ в матрице адсорбента 0,5...0,7% (мас.). Зависимость емкости адсорбента (E) от степени загрязнения фильтруемой воды дизельным топливом (c) в тех же условиях фильтрования носит экстремальный характер. Максимальная емкость фильтрующего материала отмечена при концентрации дизельного топлива в воде, равной 0,150 кг/м³.

В ходе дальнейшего исследования первого структурного варианта фильтра было выявлено

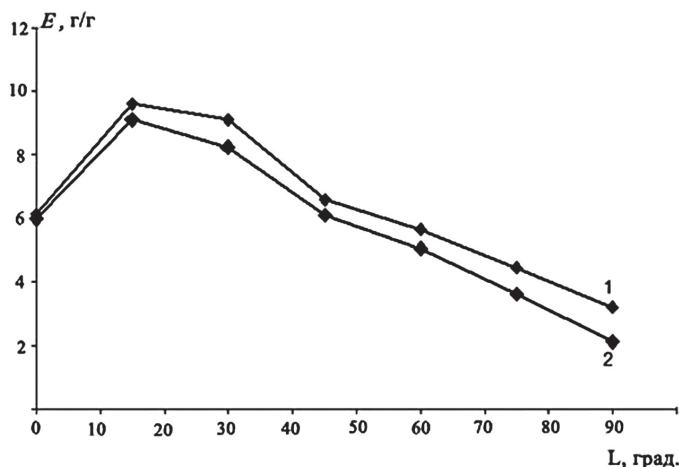


Рис. 4. Зависимость емкости фильтра от угла наклона фильтра вниз (1) и вверх (2) относительно горизонтальной оси.

но и исследовано влияние угла наклона фильтра (L) и числа фильтрующих слоев (n) волокнистого материала, не содержащего АСВ, на эффективность сорбции углеводородных загрязнителей из воды. Угол наклона фильтра и струю фильтруемой воды изменяли от 0 до 90° вверх и вниз относительно горизонтали.

Оказалось, что в этих условиях сорбционная емкость фильтрующего материала изменяется экстремально с максимумом при $L = 15^\circ$ в обоих направлениях от горизонтальной оси (рис. 4).

Значение сорбционной емкости фильтра выше при фильтровании воды снизу вверх (кривая 1), чем в условиях обратного течения (кривая 2). Так, при подаче воды в фильтр снизу вверх и наклоне фильтра 90° относительно горизонтали значение емкости фильтрующей системы выше (3 г/г), чем в условиях обратного течения воды (2 г/г).

Выявлено также, что при изменении угла наклона фильтра его емкость линейно зависит от числа фильтрующих слоев (n). Например, при углах наклона фильтра 15 и 90° вверх от горизонтали емкость фильтра в зависимости от числа фильтрующих слоев количественно выражается соответственно:

$$E = -0,85n + 14,5 \quad (2)$$

$$E = -0,07n + 2,2 \quad (3)$$

Из уравнений (2) и (3) видно, что с увеличением угла наклона фильтра его емкость в меньшей степени зависит от числа слоев фильтрующего материала, и добавление фильтрующих слоев не повышает значения сорбционной способности фильтра. В его работе «принимают участие» только первые

несколько слоев. Так, при числе фильтрующих слоев 4, 6 и 8 значения емкости фильтра в удельных единицах практически одинаковы и составляют, соответственно, 10,1; 9,0 и 8,5. Если число фильтрующих слоев меньше 4, то емкость фильтра возрастает. Например, фильтр, содержащий 2 слоя на расстоянии 20 мм друг от друга, характеризуется адсорбционной емкостью, равной 12 г/г; емкость однодискового фильтра, расположенного на расстоянии 30 мм от входного патрубка, увеличивается до 15 г/г.

Второй вариант структуры фильтра исследовали при числе фильтрующих слоев 4, которые расположены между собой и от входного патрубка, как и в первом варианте фильтра на расстоянии 20 и 30 мм, соответственно. Эти структурные условия фильтра соответствовали его емкости 10,1 г/г при угле наклона фильтра 15° вверх относительно горизонтальной оси. Подробное исследование роли структурных параметров второго варианта фильтра в сорбции углеводородов из воды показало, что емкость фильтра значительно зависит от расположения фильтрующих слоев в корпусе фильтра. Так, с удалением четырех фильтрующих слоев от входного патрубка на расстояние 30 и 100 мм их сорбционная емкость уменьшается и имеет значения 10,1 и 7,1 г/г, соответственно.

При увеличении расстояния между двумя парами фильтрующих слоев их емкость увеличивается до определенного значения (табл. 1, примеры 3–6) и проходит через максимум (пример 6). При этом значение емкости фильтра выше, чем при равномерном расположении того же числа фильтрующих слоев адсорбента (примеры 2, 8) и значительно выше, чем при сплошной загрузке фильтрующего материала в корпусе фильтра (пример 9). С уменьшением расстояния между двумя парами фильтрующих слоев от 20 до 10 мм емкость фильтра снижается от 10,1 до 5,6 г/г (примеры 1, 2).

Степень очистки воды от примеси нефти, нефтепродуктов определяется размером пор в фильтрующем материале, размером микрокапель загрязнителя воды, диаметром перфорации дисков, расстоянием между дисками, скоростью фильтрования, гидродинамическими особенностями фильтрования водонефтяной эмульсии и другими параметрами фильтра. При изменении диаметра перфорации дисков от 1 до 2 мм емкость фильтрующей системы уменьшается. Так, емкость адсорбента в четырехслойном фильтре при диаметре перфорации дисков 1 мм равна 10,1 г/г, а при диаметре 2 мм — 6,4 г/г. Для получения более глубоких

практических знаний о параметрах фильтрования и механизме сорбции нефтепродуктов в гидродинамических условиях определены общая пористость, средний радиус пор, коэффициент проницаемости фильтрующего материала на основе волокон полиакрилонитрила, которые, соответственно, имеют значения: $W = 0,96\%$; $r = 4,75 \cdot 10^{-6}$ м; $D = 2,70 \cdot 10^{-8}$ м²•с/кг. Данные волокнистые адсорбенты имеют высокие значения относительного объема пор (пористости) и, следовательно, общей сорбционной емкости в статических условиях, что подтверждается результатами сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды [4].

Частицы 1%-ной эмульсии нефти в воде, притертые покровным стеклом микроскопа, представляют собой, в основном, большие вытянутые образования размером до 50 мкм и более (редко 5...10 мкм), шириной до 6 мкм (встречаются и гигантские частицы, вытянутые в длину на 100...200 мкм). У частичек 1%-ной эмульсии дизельного топлива в воде форма более округлая, их размер составляет от 1...3 до 15 мкм. Так, адсорбционная емкость фильтрующего нитрона (без содержания АСВ) с массой 4 г при извлечении эмульгированных в воде частиц нефти равна 8 г/г, а при очистке воды от более мелких частичек дизельного топлива — 6 г/г.

С целью получения комплексных знаний о механизме сорбции нефтесодержащей воды в динамических условиях исследована зависимость сорбционной способности фильтрующего материала от химической природы волокна, структуры углеводорода. Образцы нетканых материалов примерно одинаковой структуры (пористости), изготовленные из волокон

поливинилхлорида (ПВХ), поливинилацетата (ПВА), поливинилфталата (ПВФ), полипропилена (ПП), полиакрилонитрила (ПАН) и хлопка были испытаны в условиях второго структурного варианта (четырёхслойного) фильтра. Сорбционная емкость фильтрующих материалов по дизельному топливу (0,1 кг/м³) составила, г/г: ПВФ 2,63; ПВХ 3,74; ПАВ 3,84; ПП 5,32; хлопок 7,40; ПАН 9,80.

Результаты испытания фильтрующих образцов волокнистых материалов показывают, что полипропиленовые, модифицированные хлопковые и полиакрилонитрильные волокна наиболее способны сорбировать углеводороды из водной среды в гидродинамических условиях. Они характеризуются наибольшим сродством к углеводородам, по-видимому, за счет своих более низких диэлектрических свойств и гидрофобности. Емкость волокнистых адсорбентов, как и следовало ожидать, увеличивается в зависимости от числа атомов углерода ($N_{ал.}$) или молекулярной массы ($M_{ал.}$) нефтяных углеводородов алифатического ряда.

Для октана, декана, ундекана, пентадекана, гексадекана ее можно рассчитать по уравнениям:

$$E = 0,72 N_{ал.} - 1,48 \quad (4)$$

$$\text{или } E = 0,05 M_{ал.} - 1,58 \quad (5)$$

Однако при увеличении молекулярной массы углеводорода ароматического ряда ($M_{ар.}$) — бензола, толуола, стирола, ксилола, кумола — наблюдается обратная линейная зависимость:

$$E = 12,96 - 0,06 M_{ар.} \quad (6)$$

В отличие от углеводородов алифатического ряда увеличение молекулярной массы аро-

Таблица 1

Изменение емкости фильтров в зависимости от расстояния между фильтрующими слоями

№ опыта	Сорбирующий материал	Четырёхслойный фильтр		Двухслойный фильтр	
		Расстояние между попарно расположенными слоями, мм	Емкость фильтра, г/г	Расстояние между слоями, мм	Емкость фильтра, г/г
1	Полиакрилонитрил	10	5,6	10	-
2		20	10,1	20	12,0
3		40	10,4	40	13,2
4		70	11,5	70	-
5		100	12,9	100	15,4
6		140	17,8	140	17,9
7		150	14,0	150	16,0
8	Хлопок*	20	7,7	-	-

* При сплошной загрузке хлопка с толщиной слоя 35 мм в корпусе фильтра $E = 0,16$ г/г

Таблица 2

Емкость нитрона при фильтровании углеводородсодержащей воды (100 мг/дм³) через четырехслойный фильтр

№ опыта	Сорбат	Число атомов углерода в углеводороде, N	Молекулярная масса сорбата, M	Емкость адсорбента, г/г
1	Октан	8	114,22	3,3
2	Декан	10	142,29	5,8
3	Ундекан	11	156,31	6,4
4	Пентадекан	15	212,42	9,0
5	Гексадекан	16	226,45	10,3
6	Бензол	6	78,12	7,9
7	Толуол	7	92,14	7,1
8	Стирол	8	104,15	6,7
9	Ксилол	8	106,17	6,5
10	Кумол	9	120,19	5,7

матического углеводорода не приводит к резкому изменению сорбционной способности фильтрующего материала (табл. 2).

Изменение сорбционной емкости фильтра второго структурного варианта в зависимости от линейной скорости фильтрования воды (V) достоверно ($R^2 = 0,946$) аппроксимируется уравнением линейной регрессии:

$$E = -332,21 V + 11,85 \quad (7)$$

При фильтровании нефтесодержащей воды с увеличением V от $1,415 \cdot 10^{-3}$ до $5,659 \cdot 10^{-3}$ м/с перепад давления в фильтре (ΔP , Па) возрастает и достоверно ($R^2 = 0,969$) изменяется по линейному закону:

$$\Delta P = 759206 V - 556,69 \quad (8)$$

При скорости фильтрования воды, равной $5,659 \cdot 10^{-3}$ м/с, разница между перепадами давления в слоистом фильтре в начале и после полного использования адсорбционной емкости фильтрующего материала составляет 219,79 Па, что в три раза меньше перепада давления в фильтре сплошной загрузки адсорбента (659,34 Па).

Анализ результатов, полученных с применением первого и второго вариантов фильтра, логически привел нас к формированию *третьего варианта структуры фильтра*. Двухдисковый фильтр в исходном положении, т.е. при расстоянии между дисками и от входного патрубка 20 и 30 мм, соответственно, имеет емкость 12 г/г. С увеличением расстояния между дисками на 40, 100, 140, 150 мм емкость фильтра также, как и в случае второго варианта структуры фильтра, возрастает до определенного значения, проходит через максимум,

а затем уменьшается: 13,2; 15,4; 17,9; 16,0 г/г, соответственно (табл. 1). В ходе исследования структурных параметров фильтров становится понятно, что выявленная закономерность в изменении емкости фильтрующего материала в зависимости от числа дисков и расстояния между ними связана с определенным гидродинамическим эффектом. С целью проверки этого предположения были определены емкостные характеристики многослойного напорного фильтра в форме усеченного конуса. *Четвертый вариант структуры фильтра* содержит такой же набор основных элементов, как и в случае первых трех вариантов фильтра с той разницей, что корпус фильтра и съемная насадка выполнены в форме усеченного конуса. В одних условиях нефтесодержащую воду подавали на фильтр через патрубок узкого отверстия фильтра, очищенную воду отводили через патрубок широкого отверстия фильтра, в других условиях фильтрование проводили в обратном направлении. Внутренний диаметр фильтра с узкого отверстия 0,028 м, с широкого 0,064 м, высота фильтра 0,180 м, объем фильтра 0,314 м³. Фильтр содержит 4 диска, расположенных на расстоянии 20 мм друг от друга и на расстоянии 30 мм от входного патрубка. Размер перфорации дисков 1 мм. Фильтрование проводили при горизонтальном расположении фильтра. В ходе фильтрования воды изменяли расстояние между попарно расположенными дисками. Значения сорбционной емкости фильтрующего материала (нитрона) при различных вариантах структуры фильтра данной конструкции представлены в табл. 3. Из нее видно, что с удалением попарно расположенных фильтрующих слоев друг от друга значение емкости фильтра изменяется так же экстремально, как и во втором и

Таблица 3

Изменение емкости четырехслойного конус-фильтра в зависимости от структурных параметров

№ опыта	Расстояние между попарно расположенными слоями, мм	Емкость фильтра при подаче воды в фильтр, г/г	
		с узкого отверстия	с широкого отверстия
1	20	3,4	2,3
2	40	7,8	6,0
3	60	3,4	5,2
4	80	2,1	4,5

третьем варианте фильтра, В условиях подачи воды в корпус фильтра с узкого входа при равномерном расположении слоев (20 мм) емкость фильтра (3,4 г/г) выше, чем при подаче воды с широкого входа (2,3 г/г).

Полученные значения емкости волокнистых материалов в условиях фильтрования значительно ниже (на 24–27 удельных единиц) емкости тех же адсорбентов по углеводородам в статических условиях [4]. Резкое уменьшение способности волокнистых материалов к сорбции нефтепродуктов в гидродинамических условиях характеризует слабое взаимодействие углеводородов с их поверхностью, что подтверждается термодинамическими параметрами этого взаимодействия. Так, энтальпия взаимодействия адсорбент - сорбат на примерах полипропиленовое волокно - декан и полиакрилонитрильное волокно - декан составляет 0,80 и -0,85 Дж/г адсорбента, соответственно. На основании определенных значений среднего размера ячеек (радиуса пор), образованных при пересечении элементарных волокон фильтрующего материала, и предельных размеров эмульгированных нефтепродуктов в воде можно предположить в общем виде следующий механизм отделения дисперсной фазы при непосредственном контактировании эмульсий типа «масло в воде» с поверхностью адсорбентов в гидродинамических условиях. Диаметр большинства микрокапель эмульсий больше размера ячеек волокнистого материала, поэтому при фильтровании эмульсии в момент соприкосновения микрокапель с поверхностью волокнистого материала начинается процесс обволакивания филаментов (волокон) микрокаплями нефтепродуктов и их ограниченное растекание. Часть микрокапель, прикрепленных к филаментам, будет укрупняться за счет микрокапель, поступающих из эмульсии, а другая часть — за счет слияния с соседними. Укрупненные микросферы

будут пронизываться несколькими отдельными волокнами, прилегающими близко друг к другу. Волокна, находящиеся в поперечном сечении, будут препятствовать перемещению капли вдоль потока эмульсии, а волокна в продольном сечении будут тянуть каплю вдоль линии тока. Таким образом, крупные микросферы будут приобретать подвижность. При дальнейшем движении жидкости в пористой среде капли будут периодически терять массу и затем накапливать ее. При значительном заполнении порового пространства материала фильтра возрастет гидродинамическое сопротивление потоку эмульсии. При заполнении слоя фильтра до определенной величины установится динамическое равновесие между количеством поглощаемой и уносимой из слоя фильтра углеводородной фазы эмульсии, поэтому использование емкости фильтра будет происходить послойно. Однако легкость отделения эмульгированных нефтепродуктов от воды непосредственно на поверхности волокон должна быть predetermined еще в падающей струе водонефтяной эмульсии. Основная роль многослойного (дискового) фильтра в повышении адсорбционной емкости волокнистого фильтрующего материала заключается в принципе перехода от турбулентного потока к ламинарному течению в струе. При прохождении турбулентного потока нефтеводной эмульсии через перфорированный диск формируются определенно направленные струи. В строго направленной струе в течение определенного периода времени действует сила натяжения, которая определяет и поддерживает в струе ламинарное течение. За время существования струи под действием силы натяжения в струе развивается процесс эффективного сепарирования эмульгированных углеводородных частиц (микрокапель) и накопление (всплывание) их в верхнем объеме фильтра из-за меньшей плотности и скорости падения нефтепродуктов в сравнении с водой. Кроме того, при прохождении строго направленной струи через перфорацию диска не исключена возможность действия элементов гидроциклонирования. Этот гидродинамический эффект дополнительно усиливает разделение эмульсии.

В разработанных и изученных структурных вариантах фильтра вышеизложенный принцип неоднократно подтверждается. Действительно, с увеличением продолжительности существования струи или с увеличением расстояния между двумя парами дисков (*второй вариант фильтра*) и между двумя дисками (*третий вариант фильтра*) до опре-

деленного значения адсорбционная емкость фильтров возрастает (табл. 1). Однако при расстояниях выше экспериментально найденных пределов емкость фильтров уменьшается. Емкость фильтров также уменьшается с увеличением расстояния между входным патрубком и первым фильтрующим слоем, диаметра перфорации дисков, угла наклона фильтров больше 15° (рис. 4) и с расширением входного отверстия фильтра, выполненного в форме усеченного конуса (табл. 3). Структурные параметры, понижающие емкость фильтров по нефтепродуктам, соответствуют той ситуации, в которой происходит разбалансировка направленности струи или нарушение режима ламинарного течения.

Заключение

Найдённое конструктивно-структурное решение фильтра очистки нефтесодержащих вод основано на принципе трансформирования турбулентного потока в ламинарное течение. Этот принцип реализован с помощью перфорированных дисков, расположенных в корпусе фильтра на определенном расстоянии между собой и от входного патрубка. Применение фильтра с оптимальными структурными параметрами позволяет увеличить емкость тривиального фильтрующего волокнистого материала в 10–15 раз и уменьшить перепад давления в фильтре в 3 раза по сравнению с фильтром сплошной загрузки тем же волокнистым материалом. Конструкция фильтра имеет много структурных вариантов из-за легкости ее модернизации. Так, секцион-

ный опытно-промышленный вариант дискового фильтра был успешно испытан в реальных условиях очистки воды от органических контаминаций при объемной скорости фильтрования 1,2 м³/ч и перепаде давления в фильтре 40530 Па (0,4 атм).

Литература

1. Дерягин Б.В. Микрофлотация: водоочистка, обогащение / Б.В. Дерягин, С.С. Духин, Н.П. Рулев. М.: Химия, 1989. 112 с.
2. Акопов Е.О. Разработка сорбционного способа разделения водонефтяных эмульсий. Дис. ... канд. техн. наук. М., 2005. 158 с.
3. Говорова Ж.М. Интенсификация процессов очистки воды, содержащей антропогенные примеси // Вода: химия и экология. 2012. № 7. С. 30–38.
4. Пат. 2071829 РФ / Сорбент нефтепродуктов. Дмитриева З.Т., Быстрицкая М.А., Былина И.В. Заявлено 21. 04 1993. Опубликовано 20. 01. 1997, Бюл. № 2.
5. Пат. 2081672 РФ / Фильтр для очистки воды от нефтепродуктов. Дмитриева З.Т., Былина И.В., Родионова Н.И. Заявлено 23. 12. 1994. Опубликовано 20. 06. 1997, Бюл. № 17.
6. Пат. 2092224 РФ / Фильтр для очистки воды. Дмитриева З.Т., Тихонова Л.Д., Былина И.В., Родионова Н.И. Заявлено 18. 01. 1993. Опубликовано 10. 10. 1997, Бюл. № 28.
7. Григоров О.Н. Руководство к практическим работам по коллоидной химии / О.Н. Григоров, И.Ф. Карпова, З.П. Козьмина, К.П. Тихомолова, Д.А. Фридрихсберг, Ю.М. Чернобережский. М. — Л.: Химия, 1964. 326 с.



Z. T. Dmitrieva

HIGH-EFFICIENCY ADSORPTION WATER TREATMENT FROM HYDROCARBONIC COMPONENTS USING DISK FILTER WITH VARIABLE-SPEED FLOW

Treatment filter for oil-containing water was developed. It is based on a principle of transformation of turbulent to laminar flow. The principle was assisted using perforated disks located at determined interval from each other in filter construction. Optimization of constructional-structural filter variants with the highest adsorption capacity of filter fiber material was carried out. Dependences of adsorption capacity change on its constructional parameters, physico-chemical characteristics of sorbent, chemical nature of hydrocarbonic pollutant and hydrodynamic conditions of filtration are revealed.

Key words: filter, adsorbent, structure, filtration parameters