



УДК 628.334.5/336.43:665.6

А.Б. Адельшин, А.В. Бусарев, Н.И. Потехин, А.С. Селюгин, А.А. Адельшин

## **К ПРОБЛЕМЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД**

Основным показателем для нефтяных эмульсий (нефте содержащих сточных вод – НСВ) является их устойчивость, которая обусловлена следующими основными факторами: дисперсность системы; физико-химические свойства адсорбционных оболочек на каплях дисперсной фазы; наличие на глобулах дисперсной фазы двойного электрического слоя; температура и рН среды. Исследователи едины в том, что процесс предварительной обработки НСВ с целью достаточно полного и интенсивного разрушения (расслоения, очистки) ее должен быть направлен к достаточно полному уменьшению агрегативной и кинетической устойчивости НСВ (нефтяных эмульсий).

Анализ наиболее признанных теорий стабилизации дисперсных систем указывает на весьма важные обстоятельства.

Теория двойного электрического слоя связывает агрегативную устойчивость эмульсионных систем с образованием двойного электрического слоя, который препятствует сближению глобул на расстояние, где действуют молекулярные силы притяжения. Двойной электрический слой может быть образован либо в результате адсорбции ионов электролита, либо в результате взаимодействия веществ дисперсной фазы со средой и ионизацией молекул. При этом дебаевская толщина двойного электрического слоя в эмульсиях типа М/В составляет  $10^{-3} - 10^{-2}$  мкм, т. е. намного меньше, чем в эмульсиях В/М, где дебаевская толщина достигает 10 – 20 мкм [1].

В эмульсиях (НСВ) нефтяные частицы имеют отрицательный заряд. Вокруг частиц образуется диффузный слой из ионов противоположного знака. При движении частиц нефти ионы отстают от них и слой разрушается, нарушается электронейтральность системы и между частицей и жидкостью на границе адсорбционного слоя возникает разность потенциалов.

Анализ формул для численной оценки энергии отталкивания капель дисперсной фазы при сближении их в дисперсионной среде показывает, что энергия отталкивания двух капель воды в масле намного меньше, чем энергия отталкивания двух капель масла в воде, и чем меньше капли, тем энергия отталкивания меньше. Следовательно, высокую агрегативную устойчивость НСВ, особенно концентрированных и высококонцентрированных с внешней водной фазой, на основании только теории двойного электрическо-

го слоя объяснить достаточно полно невозможно.

Сольватная теория высокую агрегативную устойчивость эмульсии объясняет образованием на поверхности глобул сольватного слоя из молекул дисперсной среды [1]. Согласно этой теории, в НСВ вокруг глобул нефти образуется гидратная оболочка, представляющая собой уплотненную атмосферу диполей воды. В результате упругих свойств слоя и отсутствия поверхностного натяжения на границе этого слоя и среды, при столкновении глобул нефти они не коалесцируют. Однако имеются сведения, что даже сильнополярные группы взаимодействуют только с небольшим количеством полярных молекул [1], что сольватные оболочки могут образоваться только в результате сильного энергетического взаимодействия дисперсной среды с дисперсной фазой, что объяснить устойчивость эмульсионных систем с незначительным молекулярным сродством фаз за счет образования сольватных оболочек невозможно.

На основе эффекта Гиббса-Марангони [2], стабилизация эмульсии объясняется появлением в пленках дисперсионной среды на глобулах дисперсной фазы двухмерных давлений при утоньшении пленок. При этом происходит локальное понижение величины адсорбции ПАВ и, как следствие, местное повышение межфазного натяжения. Исследователи отмечают, что рассмотренный фактор стабилизации является кинетическим, т.к. с достижением адсорбционного равновесия ПАВ в системе его влияние на стабилизацию эмульсии уменьшается.

Стабилизацию эмульсии исследователи объясняют также на основе теории «расклинивающего давления» [2, 3], которое появляется между сближающимися каплями с утоньшением пленки дисперсионной среды и является результатом образования адсорбционных слоев и сольватной оболочки. Эта теория объединяет общие представления теории стабилизации дисперсных систем двойными электрическими слоями и сольватной теории.

Теория структурно-механического барьера устойчивости эмульсионных систем объясняет образование на поверхности капель дисперсной фазы адсорбционных (бронирующих) оболочек с высокой структурной вязкостью. Оболочки близки к насыщению слоя ориентированных высокомолекулярных ПАВ. Сильным стабилизирующим действием обладают колло-



идные оболочки, являющиеся пленочными-студнями-логелями, сильно сольватированными дисперсионной средой и диффузно в нее переходящими [1].

Исследованиями [2,3] установлено, что состав оболочек нефтяных эмульсий отличается разнообразием и в них входят: асфальтены, смолы, парафины, соли нафтеновых кислот и тяжелых металлов, твердые частицы минеральных и углеродных суспензий с поверхностью, модифицированной полярными компонентами нефти; порфирины и их окислы, содержащие тяжелые металлы, и т.д.

Установлено, что металлопарафиновые комплексы приводят к образованию прочной «бронирующей» оболочки; твердые частицы (песок, известняк, глина, гипс, гидрат окиси железа, кварц и др.) способствуют повышению прочности оболочек. Анализ состава бронирующих оболочек нефтяных эмульсий различных месторождений нефти показывает, что основными стабилизаторами являются асфальтены, смолы, в состав которых могут входить высокоплавкие парафины (до 70 %) и неорганические механические примеси (до 40 %), все компоненты могут быть представлены в разных сочетаниях. Органическая часть стабилизаторов представляется из фракции: парафинов (П), смол гексановых (С) и бензолных асфальтенов (А) и, в зависимости от соотношения фракции, различают нефтяные эмульсии: асфальтеновые при  $(С + А) / П \geq 1,0$ ; парафиновые при  $(С + А) / П \leq 1,0$ ; смешанные при  $(С + А) / П \approx 1,0$  (0,8 – 1,2). Асфальтеновые эффективно разрушаются при температурах от 5° до 70° С в присутствии деэмульгаторов типа дисольвана 44П; парафиновые - при температуре ниже 20° С и резком повышении дозы того же деэмульгатора; повышенное содержание мехпримесей в составе оболочек требует больших расходов деэмульгатора для их разрушения [2, 3, 4].

Исследованы составы и физико-химические свойства механических примесей и золы нефтешламов из различных аппаратов и сооружений установок подготовки и очистки НСВ различных нефтепромыслов АО «Татнефть». Спектральный анализ механических примесей и золы нефтешламов показал, что основными элементами состава механических примесей и золы нефтешлама являются кремний, алюминий, железо, кальций, магний, натрий, барий и стронций. Диапазон изменения содержания отдельных элементов колеблется в широких пределах - от 1 (кобальт) до 900 (медь), у основных элементов, кроме бария и стронция, диапазон изменяется от 1,9 (алюминий) до 10 (натрий). Средние значения содержания элементов близки к их максимальным значениям. Соотношение указанных величин не превышает 3,75 (свинец). Элементарный состав механических примесей и золы может быть охарактеризован как однородный [5,6].

Минеральная часть механических примесей состоит, в основном, из глины (оргелиты), олевролитовых, мергелевых и кварцевых песчинок размером не бо-

лее 10 – 15 мкм. В НСВ, в основном, содержатся частицы взвешенных веществ (90,9 – 99,9 %) и нефти (84 – 97,5 %) размером не более 10 мкм, встречаются частицы взвеси размером 95 – 195 мкм (0,31 %), нефтяные – 70 – 75 мкм (0,38 %). Совместное присутствие в НСВ (нефтяных эмульсиях) различных металлов, асфальтенов, смол, парафинов и взвеси обуславливает высокую прочность «бронирующих» оболочек вокруг капель нефти и воды, следовательно, высокую стойкость эмульсии даже при каплях размером 20 – 30 и более мкм. Адсорбционный слой, образуемый нафтеновыми кислотами, непрочен, поэтому эмульсии при этом агрегативно неустойчивы [5,6].

В процессе формирования защитной оболочки происходит увеличение механической прочности ее; эмульсия становится более устойчивой, т.е. происходит ее «старение»; в начальный период - интенсивно, постепенно замедляется и часто через сутки прекращается.

Расчеты показали, что прочность межфазных адсорбционных пленок на границе «нефть-вода» по удельному давлению  $P_{кр}$  для девонских нефтей достигает 500 – 700 дин/см<sup>2</sup> (0,5 – 0,7 Н/м<sup>2</sup>), а для углеродных нефтей - 800 дин/см<sup>2</sup> (0,8 Н/м<sup>2</sup>). Для девонских нефтей - при температуре 20° С и времени старения 1 ÷ 24 ч.  $P_{кр}$  находится в пределах 600 – 110 дин/см<sup>2</sup> (0,6 – 1,1 Н/м<sup>2</sup>). Устойчивость нефтяных эмульсий понижается с повышением температуры. Температура нефтяных эмульсий составляет 10 – 70° С, а в отдельных случаях достигает 80° С [6].

Для нефтяных эмульсий характерны гетерогенность и раздробленность. Нефтяные эмульсии полидисперсны и относятся к тонкодисперсным системам с размером капель 1 – 100 мкм, но в них встречаются капли грубодисперсные (100 – 10000 мкм) и коллоидные (1 – 0,001 мкм) [3].

Стойкость нефтяных эмульсий существенно зависит от рН. Увеличение рН приводит к снижению прочности «бронирующих» оболочек.

Нефтяные эмульсии термодинамически неустойчивы, то есть неравновесны. Состояние равновесия нефтяных эмульсий характеризуется полным расслоением ее на нефть и воду.

Изучению механизма образования, процессов стабилизации и разрушения нефтяных эмульсий посвящено большое количество трудов. Однако эти вопросы достаточно полно до сих пор не раскрыты. Сущность и успешность процесса предварительной подготовки нефтяных эмульсий (НСВ) к разрушению (очистке) заключаются в достаточно полном и быстром снижении агрегативной и кинетической устойчивости эмульсии путем, главным образом, разрушения бронирующих оболочек на каплях дисперсной фазы, препятствующих слиянию, укрупнению (коалесценции) капель.

Практически все нефтяные эмульсии, образующиеся на объектах различных предприятий, имеют суспензионно-эмульсионный характер, относятся к по-



лидисперсным, микрогетерогенным системам.

Для разрушения нефтяных эмульсий (очистки НСВ) применяется механический метод (отстаивание, разделение эмульсий в поле центробежных сил, фильтрование через твердый и жидкий слои, флотация и др.), который получил широкое применение.

Физико-химические методы очистки НСВ, основанные на применении химических реагентов (коагулянтов, флокулянтов), позволяют достигнуть высокой степени очистки. Но сложность технологического процесса и эксплуатации ограничивает применение данного метода.

Механизм разрушения нефтяных эмульсий в общем случае можно разделить на следующие стадии: 1 – деформация и разрушение бронирующих оболочек на глобулах (каплях) нефти; 2 – сближение, столкновение капель; 3 – слияние капель в более крупные (коалесценция); 4 – концентрация, осаждение капель; 5 – выделение дисперсной фазы в виде сплошной фазы (расслоение, разделение эмульсии на нефть и воду).

В практике очистки НСВ для эффективной реализации первых трех стадий интенсифицируют движение частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде различными способами: перемешиванием, центрифугированием, гидродинамическим воздействием в объемных, трубчато-линейных, центробежных и струйных каплеобразователях, фильтрацией НСВ через твердые и жидкие контактные массы, а также подвижные коалесцирующие элементы электрической, магнитной, ультразвуковой обработкой и т.д. Четвертая и пятая стадии, в основном, осуществляются в аппаратах отстойного типа.

Расслоению НСВ способствует увеличение поверхностного натяжения на границе нефть-вода. С этой целью понижение концентрации эмульгаторов достигают разбавлением эмульсии. Разрушение эмульгаторов достигается при добавлении кислот, тем самым увеличивается поверхностное натяжение, что приводит к расслоению НСВ.

Укрупнение нефтяных капель и расслоение эмульсии наступают при уменьшении электрокинетического потенциала до нуля, что может быть достигнуто в электрическом поле и введением в воду электролитов, вызывающих коагуляцию нефтяных частиц.

Вероятность столкновения частиц дисперсной фазы можно интенсифицировать, увеличив концентрацию этой фазы, что способствует расслоению НСВ.

Для полного разделения эмульсии необходимо создать наилучшие гидродинамические условия отстаивания. Иногда в аппаратах очистки НСВ на границе вода-нефть образуется промежуточный слой, обуславливающий процесс очистки.

Ускорить процесс осаждения можно путем увеличения разности плотностей нефти и воды, уменьшением вязкости среды, увеличением размеров капель; скорость всплывания капель нефти прямо пропорциональна квадрату их диаметра (Стокс), поэтому пред-

варительное укрупнение диспергированной фазы сокращает время очистки НСВ в отстойнике.

Определяющими глубину и скорость процесса очистки являются: степень разрушения бронирующих оболочек на каплях нефти, режим движения, обеспечивающий укрупнение капель, и эффект массопередачи между каплями нефти. Эти процессы осуществляются наиболее полно при турбулизации потока НСВ.

Турбулентные пульсации способствуют протеканию в объеме потока НСВ следующих процессов: ослаблению бронирующих оболочек и межмолекулярных связей между компонентами бронирующих оболочек, снижению прочности и разрушению оболочек в результате их деформации (растяжения, сжатия) при дроблении капель; улучшению условий взаимного эффективного столкновения и коалесценции в связи с возникновением турбулентных пульсаций и струйных потоков разной интенсивности, а увеличение жесткости контакта капель при столкновении их увеличивает частоту эффективных столкновений.

Указанные процессы наиболее полно могут быть осуществлены в высокотурбулентном потоке в полости различных каплеобразователей. В гидравлических аппаратах большое значение имеет пристеночный эффект, где имеют место наиболее интенсивное изменение градиента скорости и значительная сила удара капель об стенку, что обуславливает разрушение бронирующих оболочек капель нефти. Это значительно улучшает условия коалесценции капель нефти в объеме последующих сооружений, например, отстойников.

Таким образом, интенсифицировать процесс очистки НСВ можно путем предварительной гидродинамической обработки ее в различных устройствах. Процесс очистки НСВ можно интенсифицировать путем оптимизации концентрации нефти в НСВ, осуществляя дозированную подачу нефти в подающий исходную НСВ трубопровод.

Во многих случаях перспективными являются физические методы снижения дисперсности нефтяной (внутренней) фазы НСВ. Существует ряд принципиальных возможностей технологического и конструктивного совершенствования и интенсификации процесса очистки НСВ на базе физических методов. Так, в практике очистки НСВ широкое применение нашли тонкослойные отстойники, нефтеловушки, маслоуловители и т.д.

Имеются высокостойкие нефтяные эмульсии, для разрушения которых требуется высокая температура. При этом дозировка деэмульгатора позволяет уменьшить температуру нагрева, разрушить эмульсию. Такой способ разрушения эмульсии с применением тепла и деэмульгаторов, в сочетании с гидродинамическими факторами, нашел широкое применение на промыслах для разрушения нефтяной эмульсии типа В/Н. Присутствие деэмульгатора в НСВ также благоприятно действует и при разрушении, очистке ее.

Представив многофакторные процессы очистки



НСВ в виде конкретизированных сил и их сочетаний, можно определить силы, интенсифицирующие процесс очистки НСВ. На основе анализа фактического материала дана следующая сравнительная оценка различных методов очистки НСВ по количеству сил (факторов), интенсифицирующих процесс очистки. Количество факторов, положительно влияющих на процесс очистки НСВ, распределяется следующим образом: отстаивание – 3 фактора; фильтрация – 4 фактора; флотация – 6 факторов; тонкослойное отстаивание – 5 факторов; отстаивание с жидкостной фильтрацией – 8 факторов; отстаивание с предварительной коалесценцией – 7 факторов; отстаивание с предварительной обработкой в гидродинамических каплеобразователях – 8 факторов; по схеме гидроциклон-отстойник – 13 факторов. Такой подход не претендует на полное и всестороннее рассмотрение всех аспектов затрагиваемой задачи, прежде всего, потому, что эффективность очистки НСВ зависит не только от количества, но и от качества воздействия интенсифицирующих факторов. Все эти факторы должны воздействовать на процесс в определенной последовательности, определенной величиной и в течение определенного времени.

Перспективным является применение комбинированных методов очистки НСВ, где имеют место наиболее полные по количеству и качеству воздействующих факторов, интенсифицирующих процессы очистки НСВ. При этом гидродинамическим воздействием на НСВ достигается наибольшее количество эффектов, интенсифицирующих процесс очистки НСВ.

Коалесценция в процессе интенсификации очистки НСВ совершенно необходима; чем выше глубина коалесценции, тем выше эффект и скорость очистки НСВ.

Исследованиями [5-10] создана новая технология очистки НСВ, которая предусматривает предварительное разрушение «брони» и укрупнение капель нефти за счет гидродинамической обработки исходной НСВ в крупнозернистых саморегенерирующихся коалесцирующих фильтрах (насадках), гидроциклонах, гидроциклонах - каплеобразователях, струйных каплеобразователях. Технология в целом реализована в установках очистки НСВ по схемам: гидроциклон-отстойник, гидроциклон-отстойник-насадка-отстойник, струйный каплеобразователь-отстойник, отстойник-насадка-отстойник и др. Аппараты и установки защищены авторскими свидетельствами.

Для применения в качестве загрузок насадок разработаны и рекомендованы [7]: полиэтилен фракции ( $d$ ) – 3 - 5 мм, высотой загрузки ( $h$ ) – 0,8 - 1,0 м, скорость фильтрации ( $v$ ) – 18 - 36 м/ч, гидравлический уклон ( $i$ ) – 0,25 – 0,30; керамический наполнитель, покрытый полиэтиленом  $d = 15 - 20$  мм,  $h = 1,0$  м,  $v = 65 - 100$  м/ч,  $i = 0,07 - 0,15$  и гранулы  $d = 10 - 15$  мм,  $h = 1,0$  м,  $v = 0 - 100$  м/ч,  $i = 0,05 - 0,18$ ; гранулы из вторичного полиэтилена  $d = 5,5 - 10$  мм,  $h = 0,8 - 1,0$  м,  $v = 60 - 100$  м/ч,  $i = 0,35 - 0,80$ ; гидрофобизированный

нефтью дробленый керамзит  $d = 3 - 5$  мм,  $h = 0,8 - 1,0$  м,  $v = 18 - 37$  м/ч,  $i = 0,25 - 0,3$ , и гранулы  $d = 5 - 10$  мм,  $h = 0,8$  м,  $v = 60 - 70$  м/ч,  $i = 0,3 - 0,5$ , и гранулы  $d = 15 - 20$  мм,  $h = 1,0$  м,  $v = 65 - 100$  м/ч,  $i = 0,07 - 0,13$ . Разработаны и внедрены технологии промышленного получения указанных материалов.

В крупнозернистых насадках режим фильтрационного потока характеризуется числом Рейнольдса ( $Re$ ) в среднем 300; время воздействия сил на частицы нефти в фильтрационном потоке составляет 3 – 10 мин; важнейшим фактором разрушения НСВ в фильтрационном потоке являются гидромеханические силы, превышающие по величине другие силы на 1,5 – 2,0 и более порядка. Последовательность воздействия сил способствует реализации механизма разрушения НСВ в объеме фильтрационного потока.

Исследованиями [5, 8, 9] разработана функционально-зонная модель гидроциклона, определены границы и размеры зон, изучены процессы в них; подтверждены обстоятельства, что гидроциклон одновременно является аппаратом как для разделения, так и для коалесценции частиц нефти; определены геометрические и технологические параметры гидроциклонов для интенсификации очистки НСВ. При работе гидроциклона со свободным сливом высокие эффекты очистки НСВ от нефти и механических примесей могут быть получены для гидроциклонов диаметром ( $D$ ) с углом конусности  $\alpha = 5 - 8^\circ$ , диаметр входного патрубка  $d_{вх} = 0,2D$ , диаметр верхнего слива  $d_{в.сл.} = (0,037 - 0,4)D$ , диаметр нижнего слива  $d_{н.сл.} = (0,006 - 0,33)D$ , высота цилиндрической части  $H_{ц} = d_{вх}$ , погружение верхнего слива  $h_{п} = 0,5d_{вх} + 2d_{в.сл.}$ , оптимальное давление на входе в гидроциклон  $P = (2,0 - 2,5)10^5$  Па.

Геометрические параметры гидроциклона с противодавлением на сливах ( $P_c$ ) для очистки НСВ могут быть определены по формулам:  $d_{вх} = 0,2D$ ,  $d_{в.сл.} = 0,3D$ ,  $d_{н.сл.} = 0,8d_{в.сл.}$ ,  $h_{п} = 0,5d_{вх} + 2d_{в.сл.}$ ,  $H_{ц} = d_{вх}$ ,  $\alpha = 3 - 5^\circ$ ,  $P = (4 - 5)10^5$  Па и  $P - P_c \geq 2 \cdot 10^5$  Па.

Основным фактором, определяющим эффективность процессов очистки (разрушение «брони», укрупнение, уменьшение полидисперсности частиц нефти, разделение фаз), являются гидродинамические силы воздействия на НСВ, которые превышают на 2 – 3 и более порядка действия других факторов. В полости гидроциклона время действия этих сил составляет 1,1 – 3 с, режим турбулентного движения жидкости характеризуется числом  $Re = 30000 - 40000$ , продолжительность последующей очистки отстаиванием сокращает ее в 1,5 – 2,0 и более раза и составляет 20 – 50 мин., в зависимости от типа НСВ.

В результате исследований [6] струйных каплеобразователей, струйно-отстойных аппаратов разработаны рекомендации: размеры и количество струйных элементов определяются исходя из заданной производительности, режима движения НСВ в полости струйного элемента, соответствующего  $Re > 10000$ , степень свободы струи  $d/d_0 = 10$  ( $d, d_0$  – соответствен-



но, диаметр струйного элемента и приточного патрубка), коэффициент перфорации  $K_n = 0,6$ , т.е. из расчета 2% от боковой поверхности; скорость истечения струи из приточного патрубка  $\geq 4$  м/с; скорость истечения из отверстий нижней части струйного элемента 0,6 – 0,65 м/с; объем зоны отстаивания на один элемент 11 м<sup>3</sup> при расходе 7 м<sup>3</sup>/ч. Коэффициент эффективности столкновения составил 0,0003, коэффициент полидисперсности - 2,6 при исходной 9.

Основными силами, определяющими разрыв бронирующих оболочек на глобулах нефти, являются: силы, обусловленные пульсациями скорости, силы давления на торцевую стенку и силы давления при повороте струи. Эти силы многократно превышают прочность бронирующих оболочек.

Разработаны математические модели процессов гидродинамики, коалесценции нефти в фильтрационном потоке гидродинамической насадки, гидроциклона, струйного каплеобразователя и установок по схеме гидроциклон-отстойник, струйно-отстойный аппарат.

Перенос известных математических моделей процесса коалесценции на каплеобразователи различных типов, конструкции и геометрии не представляется возможным, т.к. они достаточно полно не учитывают

гидродинамику и механизм коалесценции в них, эффективность столкновения капель, качественные параметры НСВ и дисперсной фазы.

Многие устройства для очистки НСВ имеют в основе процесса интенсификации очистки коалесценцию. Однако этот механизм, как один из основных, авторами не учитывается. Задачи целесообразности турбулизации потока с целью интенсификации разрушения нефтяных эмульсий (НСВ) могут быть эффективно решены в трубопроводах, транспортирующих НСВ к очистным сооружениям, или специально смонтированных трубопроводах, выполняющих роль каплеобразователей. Для расчета и проектирования таких каплеобразователей разработаны рекомендации, требующие дальнейшего их совершенствования.

В трубопроводах обвязки гидроциклона образуется сложное закрученное турбулентное реагирующее течение, о котором количественная и качественная информация практически отсутствует. Рассмотрение процессов течения и коалесценции (в целом разрушения эмульсии) осложняет ряд факторов: закрутка потока, турбулентность, необходимость учета кинетики и трехмерности, процессия вихревого ядра, при которой течение нестационарное; распад вихря и т.д. Все это обуславливает трудности моделирования процес-

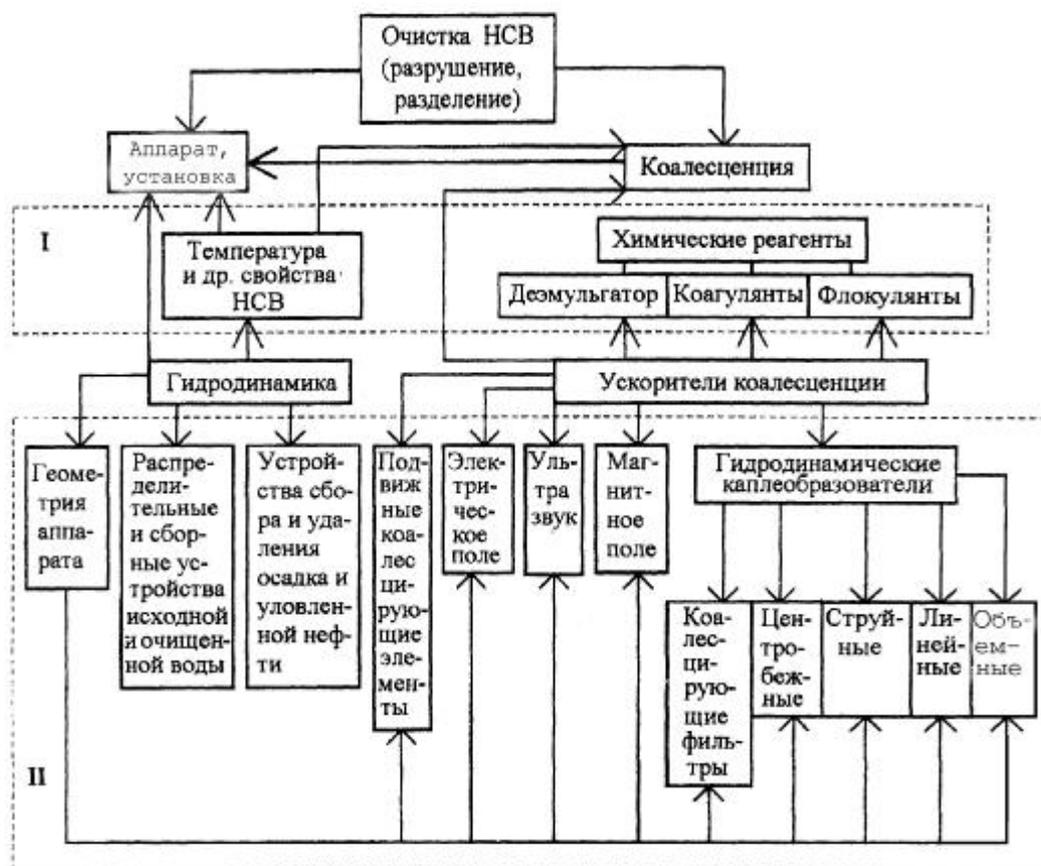


Рис. Основные управляющие факторы, определяющие процессы коалесценции капель нефти и очистки НСВ в аппаратах (установках) с использованием гидродинамических эффектов



сов гидродинамики и коалесценции в закрученных потоках. Однако в отдельных случаях достигнуты удовлетворительные результаты при использовании двухпараметрической модели турбулентности винтового потока при условии, что коэффициент турбулентного переноса - скалярная величина.

Исследованиями [10] выявлены основные закономерности распространения закрученных струй на сливных камерах в зависимости от величины статического давления на входе в гидроциклон, что способствовало описанию гидродинамики и раскрытию процессов разрушения НСВ на сливных камерах гидроциклонов.

В общем случае все основные факторы, обуславливающие эффективность разрушения НСВ, интенсифицирующие процесс очистки НСВ, можно разделить на две группы: I – технологические управляющие параметры и II – конструктивные управляющие параметры (рис.). Данное разделение имеет условный характер и не претендует на однозначность и полноту, но оно позволяет упростить анализ, связанный с рассмотрением вопросов оптимизации гидродинамических каплеобразователей и аппаратов (установок), сконструированных на основе их применения.

Широкое внедрение новых гидродинамических каплеобразователей, а также аппаратов и установок с применением их дало большой экономический эффект.

### Литература

1. Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Избранные труды. - М.: Наука, 1978. 368 с.
2. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. – М.: Недра, 1982. 221 с.
3. Тронов В.П. Разрушение эмульсий при добыче нефти. – М.: Недра, 1974. 272 с.
4. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – М.: Недра, 1977. 271 с.
5. Адельшин А.Б. Энергия потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. /Часть I. Гидроциклоны. – Казань, 1996. 200 с.
6. Адельшин А.Б., Потехин Н.И. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод на основе применения струйно-отстойных аппаратов. – Казань, 1997. 207 с.
7. Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Использование гидродинамических насадок с крупнозернистой загрузкой для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. – Казань, 1997. 249с.
8. Селюгин А.С. Разработка и моделирование гидроциклонных установок очистки нефтесодержащих сточных вод: Дис. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 1996. 180 с.
9. Бусарев А.В. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод с применением гидроциклонов с противодавлением на сливах: Дис. канд. техн. наук. – Санкт-Петербург, 1997. 229 с.
10. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Ланцов М.В., Адельшин А.А. Параметры закрученных струй на сливах гидроциклона: Исследование проблем водоснабжения, водоотведения и подготовки специалистов. //Межвуз. сб. научн. трудов. Казань, 1999. С. 137–142.