



УДК 628.33

**Адельшин А.А.** – кандидат технических наук, доцент

**Адельшин А.Б.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [a566pm@rambler.ru](mailto:a566pm@rambler.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## **ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД\***

### **АННОТАЦИЯ**

Приводятся результаты анализа теоретических и экспериментальных исследований о факторах и свойствах нефтепромысловых сточных вод (НСВ), обуславливающие интенсификацию процесса гидродинамической очистки НСВ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** очистка, нефтепромысловые сточные воды, капля, устойчивость, оболочка, разрушение, процесс.

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

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

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## **HYDRODYNAMIC FACTORS OF OIL-FIELD WASTEWATER CLEANING PROCESSES**

### **ABSTRACT**

The results of theoretical and experiment investigation about factors an properties of oil-field sewage (OFS), which causes the intensification of the process of hydrodynamic cleaning of OFS.

**KEYWORDS:** cleaning, oil pollut wast, drop, stabilitg, cover, destruction, process.

Нефтедобывающая промышленность является крупным водопотребителем и объектом образования огромного количества нефтепромысловых сточных вод (НСВ). В настоящее время около 90 % нефти добывается на месторождениях, разрабатываемых с использованием методов заводнения нефтяных пластов. Утилизация очищенных НСВ в системах заводнения является экономически и экологически выгодным путем их ликвидации на нефтепромыслах России.

Очистка НСВ для заводнения пластов заключается в удалении из них механических примесей и нефти до требуемых норм.

Основным показателем качества НСВ является их устойчивость, обусловленная свойствами НСВ и содержащихся в них естественных эмульгаторов твердыми механическими примесями, которые образуют на каплях нефти адсорбционные пленки – бронирующие оболочки. При этом сущность и эффективность процесса очистки НСВ заключается в достаточно полном и быстром снижении агрегативной и кинетической устойчивости НСВ путем главным образом предварительного разрушения агрегатов загрязнений, бронирующих оболочек капель нефти и их коалесценции перед подачей НСВ в последующие сооружения, аппараты очистки.

Процессы разрушения, коалесценции осуществляются в аппаратах-гидродинамических каплеобразователях и в общем случае зависят от количественных, качественных параметров, свойств НСВ, содержащихся в них загрязнений, гидродинамических, гидравлических характеристик течения НСВ, конструкциях и геометрии каплеобразователей.

В механизме разрушения нефтяных эмульсий (НСВ) в общем случае различают следующие стадии: 1 – деформация и разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти; 2 – сближение, столкновение капель; 3 – слияние капель (коалесценция); 4 – концентрация, осаждение капель; 5 – выделения дисперсной фазы в виде сплошной фазы (расслоение, разделение эмульсии на нефти и воду) [1, 2, 3, 4].

---

\* Работа выполнена в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы. Государственный контракт № П1362 от 11.06.2010 г.

В практике очистки НСВ для эффективной реализации первых трех стадий интенсифицируют движения частиц дисперсной фазы в дисперсной среде различными способами: перемешиванием, центрифугированием, гидродинамическим воздействием в различных каплеобразователях, фильтрацией НСВ через твердые и жидкие контактные массы, электрической, магнитной, ультразвуковой обработкой и т.д. Четвертая и пятая стадии в основном осуществляются в аппаратах отстойного типа.

Исследованиями установлено, что предварительная гидродинамическая обработка НСВ в гидроциклонах, гидроциклонах-каплеобразователях, струйных каплеобразователях, гидродинамических крупнозернистых коалесцирующих фильтрах способствует наиболее полному и быстрому разрушению бронирующих оболочек на каплях дисперсной фазы (нефти, воды), уменьшению полидисперсности, образованию качественно иной «свежей» внутренней инверсирующей фазы, разрушению и коалесценции капель. Все это способствует интенсификации процесса очистки НСВ, в т.ч. последующего отстаивания: увеличивается глубина очистки НСВ по нефти и сокращается продолжительность отстаивания в 1,5-2,0 и более раза [5-9]. При этом технологические процессы очистки НСВ в значительной степени обусловлены их свойствами. На рис. 1 приведены основные сведения о свойствах и систематизированы факторы, обуславливающие процессы гидродинамической очистки НСВ.

При этом рассмотренные выше количественные и качественные параметры, свойства НСВ наиболее эффективно реализуется только при соответствующих режимах течения (движения) потока НСВ в полости аппаратов, сооружений разрушения, очистки НСВ.

Известно, что наиболее эффективна та технологическая схема очистки НСВ, в которой достаточно полно и быстро реализуются наибольшее количество интенсифицирующих факторов. При этом технологические приемы, направленные на интенсификацию процесса разрушения, очистки, делятся на следующие группы [2, 7, 8]: разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти; сближение капель друг с другом и другими коалесцирующими объектами; коалесценция капель и переход их в состав жидкостных пленок; флокуляция капель и их контакт и переход в состав жидкостных пленок; флокуляция капель и их контакт с коалесцирующими поверхностями; расслоение эмульсии (НСВ) на нефть и воду.

В работах [7, 8] на основе анализа собранного, систематизированного фактического материала дана сравнительная оценка различных методов очистки НСВ по количеству сил (факторов), интенсифицирующих процесс очистки НСВ: отстаивания – 3 фактора; фильтрация – 4 фактора; флотация – 6 факторов; тонкослойное отстаивание – 5 факторов; отстаивание с жидкостной фильтрацией – 8 факторов; отстаивание с предварительной коалесценцией в гидродинамических каплеобразователях – 8 факторов; отстаивание с предварительной коалесценцией – 7 факторов; по схеме гидроциклон-отстойник – 13 факторов. Все факторы должны действовать в определенной последовательности, в течение определенного времени и определенной величиной.

В технологии очистки воды успешно применяются различные устройства, аппараты (гидроциклоны, турбоциклоны, центрифуги, сепараторы, направляющие лопатки стационарные и с адаптивными блоками и др.), работа которых основана на интенсивной закрутке потока жидкости в полости этих устройств и в трубопроводах обвязки их.

Гидроциклоны относятся к частному виду из многочисленных устройств для получения закрученного потока на сливах-цилиндрических камерах, соединительных трубопроводах обвязки этих аппаратов.

При этом закрученное течение в трубопроводах сливов является результатом тангенциальной подачи жидкости в гидроциклон с формированием в трубопроводах обвязки окружной (тангенциальной, азимутальной) компоненты скорости и поля центробежных массовых сил.

В общем случае закрученные потоки (струи) имеют следующие особенности: имеют большой угол расширения и меньшую дальнебойность; обладают повышенной эжекционной способностью; у корня струи возникает приосевой обратный ток; способствуют удлинению времени пребывания жидкости в объеме аппарата [10].

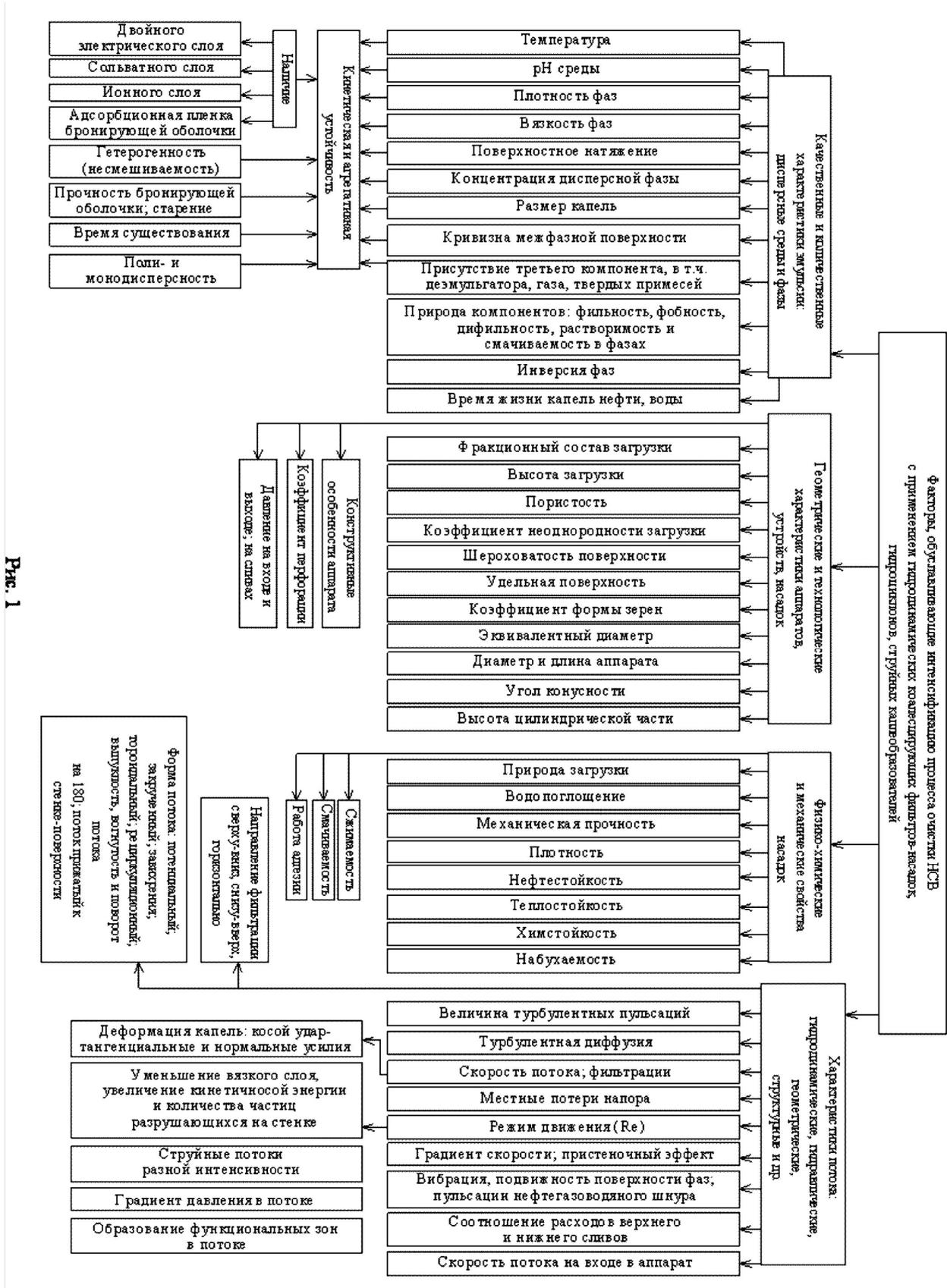


Рис. 1

Известно, что интенсивность закрутки оказывает сильное влияние на инертные и реагирующие течения, на поле течения, расширения струи, процесса перемешивания, затухания скорости в струе, на размеры, форму и структуру вращающегося потока в трубопроводах сливов-обвязки. Интенсивность закрутки характеризуется параметром закрутки  $q$  – безразмерное отношение потока момента количества движения ( $M$ ) в осевом направлении к произведению потока количества движения ( $K$ ) в осевом направлении на радиус трубопровода ( $r_0$ ) [11, 12], а в случае с гидроциклоном, трубопровода слива-обвязки.

Закрученное движение может сохраниться на относительно больших расстояниях в трубопроводах сливов гидроциклона со значительно превышающими потерями напора по сравнению с потенциальным осевым течением [11, 12].

Закрученный поток в трубопроводах сливов обладает весьма большим запасом остаточной энергии. Так, для эффективного разрушения нефтяных эмульсий (очистки НСВ) требуемое давление питания составляет 0,4 МПа, при противодавлениях на сливах – 0,2 МПа [5, 8]. При этом количество подаваемой НСВ в гидроциклон, давление питания можно регулировать и тем самым степень закрутки в трубопроводах слива можно изменить от нулевой до достаточно высокой, приводящей к формированию сильно закрученных струй с обратными токами. Однако эффективный режим разделения в гидроциклоне происходит при определенном количестве подаваемой НСВ, давлении питания, перепаде давления, противодавления на сливах для принятой геометрии аппарата. При этом определенный, достаточно высокий уровень закрутки в трубопроводах сливов, очевидно, следует создавать при относительно низком перепаде давления (потерь напора) в гидроциклоне. Это дает возможность снизить энергоемкость гидроциклона, при необходимости перебросить максимум энергии для создания необходимого уровня интенсивности закрутки в трубопроводах сливов аппарата, а следовательно, достичь высокого уровня разрушения НСВ. Тем более 1,5-2-кратное увеличение давления питания выше оптимального (0,4 МПа) с целью повышения эффективности разделения не дает увеличение эффекта разрушения в среднем более чем на 10 % [5, 8]. Энергоемкость гидроциклона растет неадекватно эффекту разделения.

При выборе геометрии и технологических параметров гидроциклона для разрушения НСВ необходимо иметь в виду его эффективность и как закручивающего устройства, так как только часть давления питания в гидроциклоне, получающегося в аппарате закрученного потока, переходит в кинетическую энергию, а весьма большая часть этого давления теряется как потеря напора в аппарате. Разная геометрия гидроциклона даже при одинаковой интенсивности закрутки может создавать неэквивалентные поля течения в трубопроводе слива обвязки гидроциклона, а следовательно, эффективность закрутки с точки зрения полноты процесса разрушения НСВ в трубопроводах сливов гидроциклона будет различной.

На рис. 2 дана классификация сил, действующих на частицу нефти в полости гидроциклона по предполагаемому результату, вклад их в процесс разрушения эмульсии (НСВ). Интерес представляют силы, способствующие разрушению частиц ( $F_{\text{разр}}$ ) и противодействующие разрушению ( $F_{\text{сопрот}}$ ). Соотношение этих сил характеризуется коэффициентом разрушения ( $y$ ) [12]. При  $y > 1$  происходит разрушение частиц, при  $y < 1$  происходит перенос частиц в полости гидроциклона.

Сила, противодействующая разрушению частиц (нефти или воды), обусловлена структурно-механической прочностью поверхностных адсорбционных слоев дисперсной фазы, т.е. бронирующих оболочек на частицах.

Структура этих слоев сложна и многообразна по компонентному составу; слои обладают аномальной вязкостью, возрастающей во времени в сотни и тысячи раз и после 24 ч. формирования слои могут приобретать вязкость, соответствующую вязкости каменноугольного пека, т.е. по свойствам приближаются к прочным твердым телам [2, 13].

Расчеты показали, что прочность межфазных адсорбционных пленок на границе «нефть-вода» по удельному давлению  $P_{\text{кр}}$  (критическое или минимальное давление) деванских нефтей достигает 500-700 дин/см<sup>2</sup>, а для угленостных-800 дин/см<sup>2</sup>; для девонских нефтей при  $t=200$  и при времени формирования  $T=1-24$  ч  $P_{\text{кр}}$  находится в пределах 600-1100 дин/см<sup>2</sup>. При этом, как показали расчеты, необходимое и достаточное для разрыва пленки значение силы составляет 4,7-34,6 дин [5].

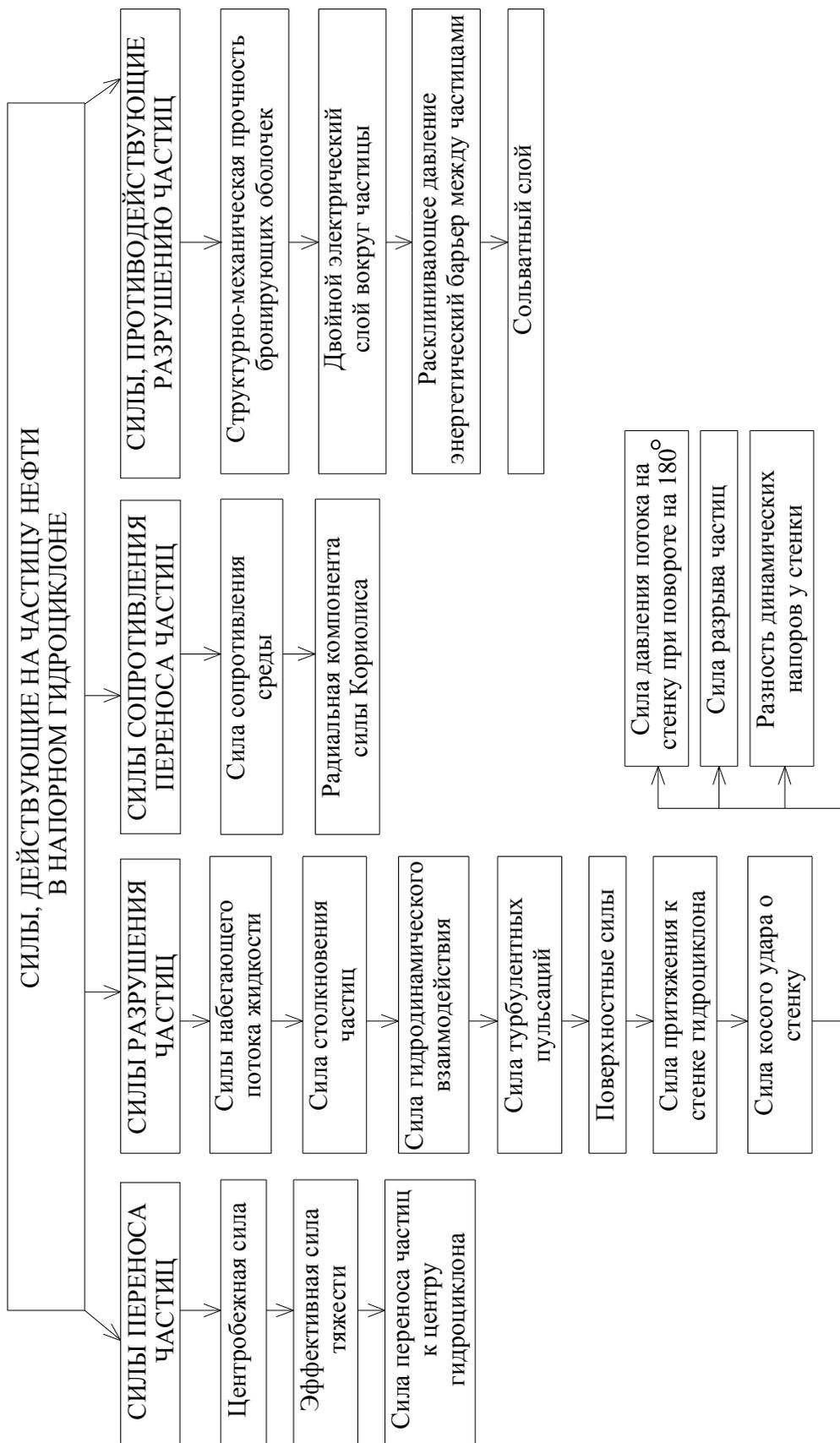


Рис. 2

В тех зонах в полости гидроциклона, где суммарная разрушающая сила превысит это значение, очевидно, будет происходить разрушение бронирующих оболочек на частицах нефти. В других же зонах аппарата будет происходить деформация бронирующих оболочек и коалесценция частиц нефти разрушенной броней. Силы, разрушающие частицы нефти в полости гидроциклона, можно определить как действующие во всей полости его и действующие у стенки аппарата.

В общем случае все основные факторы, обуславливающие процесс очистки НСВ (в т.ч. с применением гидродинамических эффектов закрученных потоков), можно условно разделить на две группы (рис. 3): I – технологические управляющие параметры и II – конструктивные управляющие параметры. Приведенное разделение позволяет упростить анализ вопроса оптимизации технологии гидродинамической очистки НСВ.

Основными факторами, обуславливающими эффективность процессов разрушения, очистки НСВ, являются гидродинамические силы воздействия на НСВ, которые превышают на 2-3 и более порядка действия других факторов [8]. При этом коалесценция в процессе интенсификации разрушения, очистки НСВ совершенно необходима; чем выше глубина коалесценции, тем выше эффект и скорость разрушения, очистки НСВ.

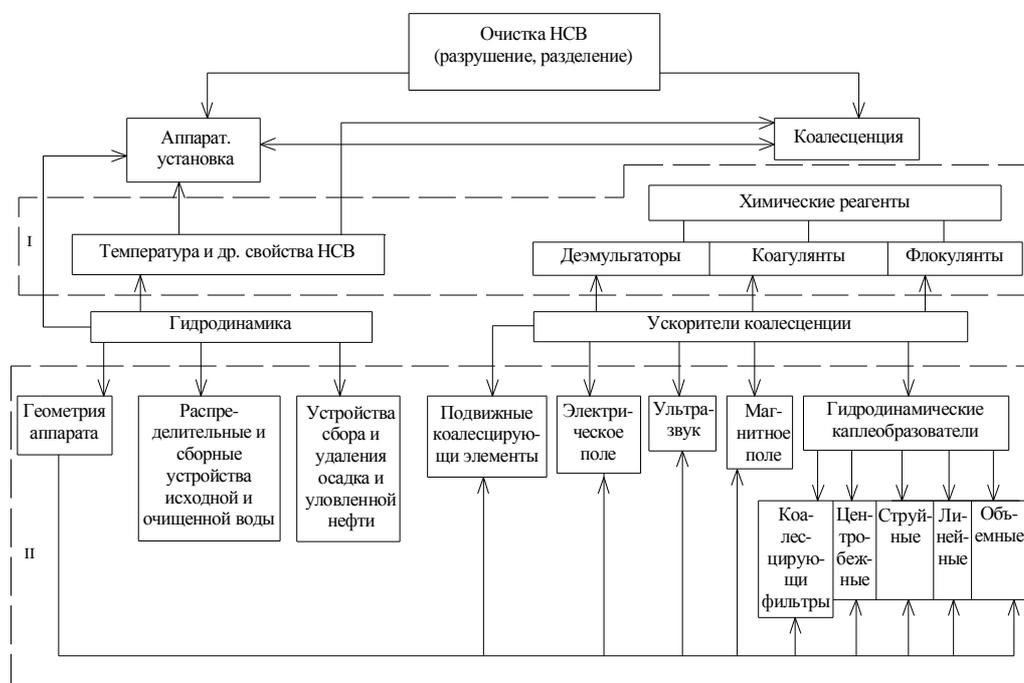


Рис. 3. Основные управляющие факторы, определяющие процессы коалесценции капель нефти и очистки НСВ в аппаратах (установках) с использованием гидродинамических эффектов

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тронов В.П., Тронов А.В. Очистка вод различных типов для использования в системе. – Казань: ФЭН, 2001. – 560 с.
2. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти. – М.: Недра, 1974. – 272 с.
3. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. – М.: Недра, 1979. – 319 с.
4. Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки сточных вод. – М.: Государственное научно-техническое изд., 1958. – 251 с.
5. Адельшин А.Б. Энергия потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. Часть 1. Гидроциклоны. – Казань, 1996. – 200 с.

6. Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Использование гидродинамических насадок с крупнозернистой загрузкой для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. – Казань: КГАСА, 1997. – 249 с.
7. Адельшин А.Б., Потехин Н.И. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод на основе применения струйно-отстойных аппаратов. – Казань: КГАСА, 1997. – 208 с.
8. Адельшин А.Б. Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод: Автореф... докт. техн. наук. – СПб., 1998. – 73 с.
9. Адельшин А.Б., Бусарев А.В., Потехин Н.И., Селюгин А.С., Адельшин А.А. К проблеме интенсификации процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод. // Известия КазГАСУ, 2003, № 2 (1). – С. 91-96.
10. Гольдштик М.А. Вихревые потоки. – Новосибирск: Сиб. отделение АН СССР. Наука, 1981. – 368 с.
11. Гунта А., Лилли Ф., Сайдер Н. Закрученные потоки. – М.: Мир, 1987. – 588 с.
12. Жизняков В.В. Исследования гидродинамически закрученного потока в трубопроводах технологических аппаратов систем очистки воды. Дисс... канд. техн. наук. – Горький, 1980. – 195 с.
13. Позднышев Г.Н. Стабилизация и разрушение нефтяных эмульсий. – М.: Недра, 1982. – 221 с.

### REFERENCES

1. Tronov V.P., Tronov A.V. Purification of different types for use in system of maintenance of sheeted pressure. – Kazan: FEN, 2001. – 560 p.
2. Tronov V.P. Trade preparation of oil abroad. – M.: Nedra, 1983. – 224 p.
3. Lutoshkin G.S. Collecting and processing of oil, gas and water. – M.: Nedra, 1979. – 319 p.
4. Mongait I.L. Methods of wastewater cleaning. – M.: State science and technology publ., 1958. – 251 p.
5. Adelshin A.B. Energy of stream in processes of intensification of clearing of petrocontaining sewage. The monography. Part 1. Hydrocyclones. – Kazan: KSABA, 1996. – 200 p.
6. Adelshin A.B. Use of a coarse-grained hydrodynamic nozzle boot for the intensification of oily waste-water cleaning. – Kazan: KSABA, 1997. – 249 p.
7. Adelshin A.B. Intensification of oily wastewater cleaning based on the use of yet-settlers. – Kazan: KSABA, 1997. – 208 p.
8. Adelshin A.B. Intensification of processes of hydrodynamic clearing petrocontaining sewage//Dissertation of a Dr. sei. tech. – St.-Petersburg, 1998. – 73 p.
9. Adelshin A.B. To the problem of intensification of the hydrodynamic cleaning of oily wastewater. // Izvestija KGASU, 2003 № 2 (1). – P. 91-96.
10. Goldshtik M.A. Whirling flows. – Novosibirsk: Siberian branch of AS USSR. Science, 1981. – 368 p.
11. Gunta A. Swirling flows. – M.: Mir, 1987. – 588 p.
12. Jiznyakov V.V. Research of hydrodynamic swirling flow in a pipelines of technological devices water cleaning systems. / Cand. of tech. sc. Diss. – Gorky, 1980. – 195 p.
13. Pozdnyshv G.N. Stabilization and disruption of oil emulsion. – M.: Nedra, 1982. – 221 p.