



УДК 628.33

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

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

**E-mail:** a566pm@rambler.ru

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## **ПИЛОТНАЯ УСТАНОВКА ОЧИСТКИ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ<sup>1</sup>**

### **АННОТАЦИЯ**

В статье представлены технологические и технические решения пилотной установки очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) на основе применения закрученных потоков, которая может быть использована при исследованиях, модернизации, совершенствовании существующих и разработке новых установок очистки НСВ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** нефтепромысловые сточные воды, установка, гидроциклоны, сливные камеры, закрученный поток, отстаивание, очистка воды, моделирование, коалесценция, гидродинамика.

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

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

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## **PILOT CLEANING PLANT OF OIL-FIELD SEWAGE ON THE BASIS OF SWIRLING FLOWS**

### **ABSTRACT**

In the article technological and technical resolutions of oil-field sewage (OFS). Pilot cleaning plant on the basis of swirling flows usage are given, which may be used during researches, mechanizations, perfect of current and development of new oil-field sewage (OFS) cleaning plant.

**KEYWORDS:** oil polluted waste, plant, hydrocyclones, drain chambers, swirling flow settling water purification, modeling, coalescence, hydrodynamics.

Очистка нефтепромысловых сточных вод (НСВ) с использованием закрученных потоков предполагает эффективное осуществление всех стадий механизма разрушения, очистки НСВ: предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти за счет гидродинамической обработки исходной НСВ в закрученных потоках гидроциклона, цилиндрических камер сливов гидроциклона и ее последующей очистки в объеме подвижной инвестирующей гидрофобной контактной массы высококонцентрированной по нефти и отстаивания, далее обработки в гидродинамических саморегенерирующих коалесцирующих фильтрах (насадках) с гидрофобной крупнозернистой загрузкой и ее последующей очистки отстаиванием. При этом основным направлением в решении проблем интенсификации и совершенствования процессов очистки НСВ является создание новых аппаратов и установок, обеспечивающих наиболее полное и быстрое снижение агрегативной и кинетической устойчивости НСВ путем, главным образом, разрушения бронирующих оболочек капель нефти, их коалесценции.

Для исследований процессов гидродинамики, коалесценции капель нефти и в целом разрушения очистки НСВ разработана, изготовлена и смонтирована экспериментальная установка (рис. 1.1, 1.2), состоящая из следующих узлов: гидроциклон 1, цилиндрическая камера нижнего слива 2, цилиндрическая камера верхнего слива 3, емкость исходной воды 4, центробежный насос 5, отстойник 6, дозирующее устройство 7, а также узлов дисперсного анализа I, II, III, контрольно-измерительных приборов, запорно-регулирующей арматуры.

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России». ГК № П1362 от 11.06.2010.

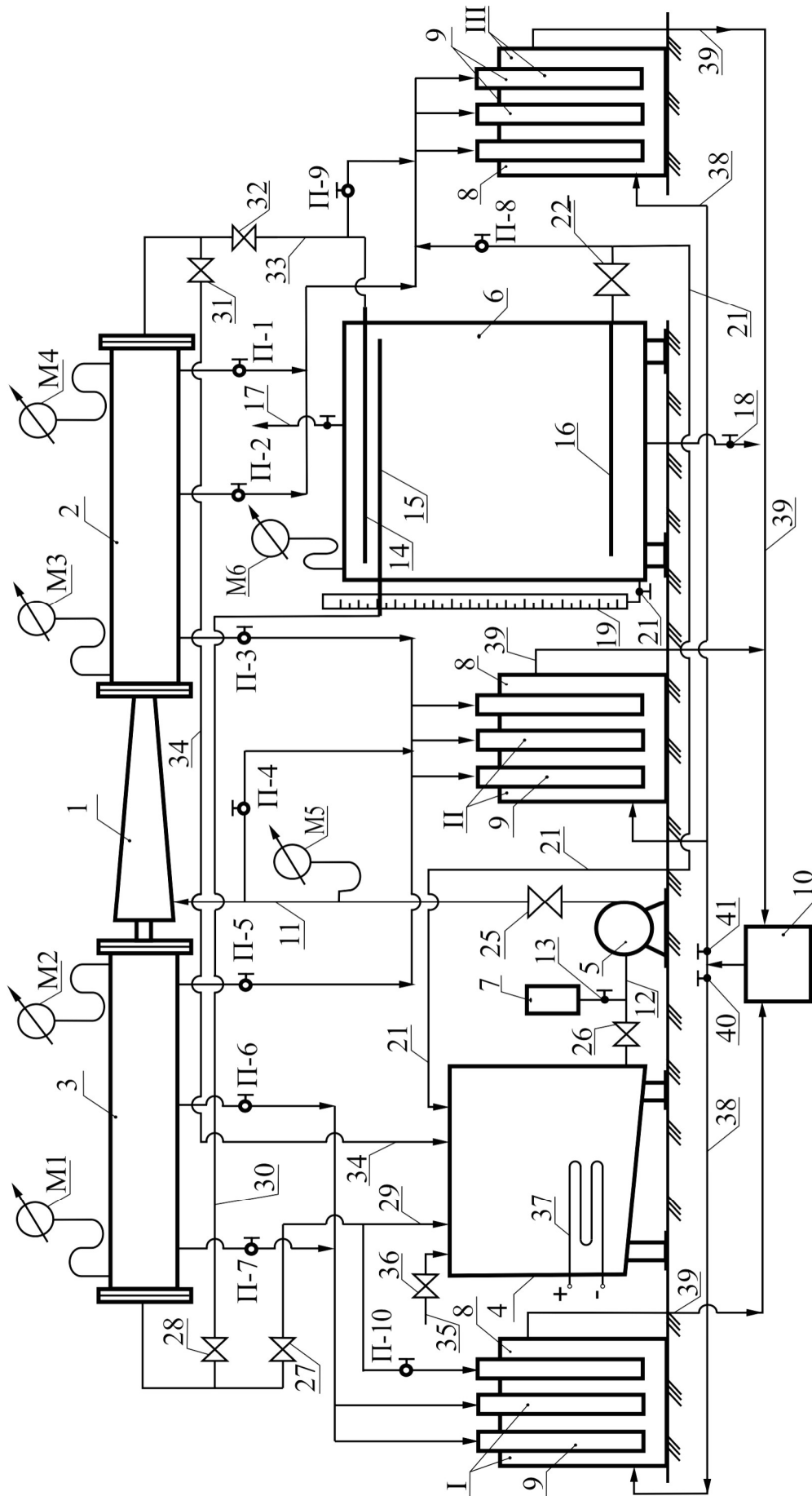


Рис. 1.1.1. Принципиальная схема пилотной установки

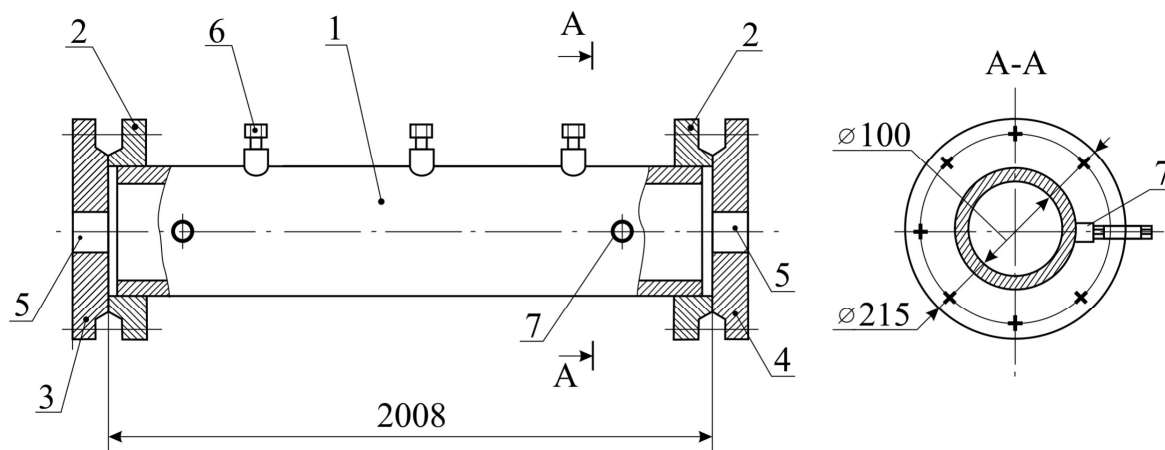


Рис. 1.2. Конструкция камер верхнего и нижнего сливов гидроциклона

Гидроциклон 1 в комплекте с насадками, стальной станочного изготовления, внутренняя поверхность покрыта эпоксидной смолой. Конструктивные параметры гидроциклона составляют диаметры: гидроциклона  $D=75$  мм, подающего патрубка  $d_{вх}=15$  мм, верхнего слива  $d_{всл}=20$  мм, нижнего слива  $d_{н.сл.}=18$  мм; угол конусности  $\alpha=5^\circ$ , глубина погружения верхнего слива  $h_{п}=48$  мм, высота цилиндрической части камеры  $H_{ц}=15$  мм [1]. Гидроциклон дополнительно скомплектован насадками верхнего слива диаметрами 20,5; 21; 21,5; 22; 23; 24; 25; 26 мм и нижнего слива диаметрами 20; 22; 23; 24; 25; 26 мм.

Цилиндрические камеры 2 и 3 (рис. 1.1, 1.2) изготовлены из стальных бесшовных труб по ГОСТ 8732-78 диаметром 100 мм (108х4), длиной 2 м, внутренняя поверхность покрыта эпоксидной смолой. На концах камер (см. рис. 1.2) установлены фланцы 2 и фланцевые заглушки 3, 4 с отверстиями 5.

Камеры 2 и 3 оборудованы (см. рис. 1.1) пробоотборниками диаметром 15 мм с вентилями П-1, П-3, П-5, П-7, установленными на расстоянии 70 мм от начала и конца камер и пробоотборниками с вентилями П-2, П-6 на расстоянии 1000 мм; П-9, П-10 на выходе из камер 2 и 3, П-8 - на выходе из отстойника, а также манометрами М1, М2, М3, М4, установленными на расстоянии 200 мм от начала и конца камер 2 и 3, и манометром М5 на напорном трубопроводе 11 насоса 5 и манометром М6 на отстойнике 6.

Емкость исходной воды 4 размерами 1040х1020х800 мм, внутренняя поверхность покрыта эпоксидной смолой, оборудована тентом 37, служит для накопления необходимого количества воды при опытах (см. рис. 1.1).

Центробежный насос 5 производительностью до  $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ , напором до  $6 \text{ кгс}/\text{см}^2$ , при числе оборотов в минуту 2500. На всасывающем трубопроводе 12 насоса 5 установлено устройство для дозирования 7 через шаровой кран 13. Дозирующее устройство 7 представляет собой градуированный по объему (в миллиметрах) термостатируемый прозрачный сосуд высотой 250 мм, диаметром 100 мм, служит для дозированного ввода раствора (импульсного ввода индикатора) или нефти в исходную воду, подаваемую насосом 5 из емкости 4 в гидроциклон 1. Насос выполняет также функцию диспергатора нефти в воде.

Отстойник 6 напорный, герметичный (см. рис. 1.1) изготовлен из стальной трубы по ГОСТ 10706-76 диаметром 800 мм, длиной 1250 мм, внутренняя поверхность покрыта эпоксидной смолой. Отстойник 6 оборудован: двумя люками диаметром 200 мм для профилактического осмотра внутренних коммуникаций в полости его; трубчатыми перфорированными распределителями потоков из нижнего слива 14 и из верхнего слива 15; трубчатым перфорированным устройством 16 для сбора воды; патрубками 17 и 18 с вентилями диаметром 25 мм, соответственно, для удаления воздуха, уловленной нефти и опорожнения отстойника 6; мерным стеклом 19 с миллиметровой градуировкой по высоте и с вентилем 20; водоотводящим трубопроводом 21 с задвижкой 22.

Каждый из трех узлов дисперсного анализа (I, II, III) состоит из водяной бани 8 и не менее трех цилиндров Спильнера 9, изготовленных из стекла диаметром 45 мм и высотой 450 мм. Водяные бани соединены с регулируемым термостатом 10 – водонагревателем типа «Polaris Gamma-5»: (напряжение 220 В, мощность 5 кВт, производительность 4 л/мин, возможная температура воды на входе  $20^\circ \text{C}$ , на выходе  $40^\circ \text{C}$ , габаритные размеры 160х290х100 мм).

Водяные бани 8 изготовлены из листовой стали, покрыты эпоксидной смолой изнутри и снаружи, размерами каждая 650x210x580 мм с подающими снизу 38 диаметром 15 мм и отводящими сверху 39 диаметром 25 мм патрубками-трубопроводами.

В процессе исследований для измерения предусмотрены следующие оборудование и приборы: расход жидкости определяется объемным способом при помощи мерных цилиндров (ГОСТ 17770-74) и секундомера СОППР-2а-3-000 «Агат» 4282 (ГОСТ 5079) с погрешностью хода  $\pm 0,4$  с. При измерении расхода жидкости предусмотрено не менее трех замеров. Общий расход жидкости установки по схеме «гидроциклон – камеры сливов – отстойник» определяется как сумма расходов через камеры нижнего и верхнего сливов и проверяется на выходе из отстойника.

Измерение давления на входе в гидроциклон, на выходе сливов гидроциклона (т.е. в начале камер сливов), на выходе камер верхнего и нижнего сливов, в отстойнике осуществляется образцовыми манометрами типа МО модели 11202 верхним пределом измерения 1,0 МПа (10 кгс/см<sup>2</sup>), класс точности 0,4.

Температура жидкости измеряется ртутным термометром (ГОСТ 823-73) с ценой деления 0,1°С. Плотность воды и нефти измеряется при помощи ареометров АОН-1 (ГОСТ 18481-81) ценой деления 0,001 г/см<sup>3</sup>. Вязкость воды и нефти определяется по ГОСТ 33-66 капиллярными вискозиметрами (ГОСТ 10028-81). Поверхностное натяжение определяется с помощью прибора Ребиндера и точностью 0,1±0,5 %.

В экспериментах по исследованию процессов гидродинамики модели установки БГКО (блок гидроциклон – камеры сливов – отстойник) в качестве индикатора используется химически чистый хлористый натрий (NaCl). Концентрация индикатора в воде определяется с помощью кондуктометра типа АНИОН 4120 (сертификат Госстандарта RU.C.31.060.A9490, регистрационный №20802-01. Паспорт. Новосибирск, 2002 г.), изготовлен научно-производственным предприятием «Инфраспек-Аналит». Прибор обеспечивает: измерение удельной электрической проводимости в пределах от 0,001 до 100 мСм/см с погрешностью  $\pm 2,0$  %; степени минерализации растворов в пересчете на хлористый натрий в пределах от 1 мг/л до 20 г/л с погрешностью  $\pm 5$  %; автоматическую температурную компенсацию результатов измерений; вывод результатов измерений в единицах мг/л, мСм/см; цифрового представления результатов измерения.

В экспериментах по исследованию процессов коалесценции капель нефти и очистки НСВ определение содержания нефтепродуктов в воде производится экстрагированием нефтепродуктов растворителем толуол и с использованием фотометра-фотоэлектрических КФК-3 (БШ2.853.021 ПС), использованием УХЛ категории 4.2 по ГОСТ 15150-69, допускаемой абсолютной погрешности: при измерении коэффициента пропускания 0,5 %, а среднеквадратичного отклонения случайной составляющей – 0,15 %.

При создании пилотной установки для очистки НСВ с использованием закрученных потоков основной задачей ее моделирования стало максимальное приближение технологических, геометрических, гидродинамических, физико-химических параметров, условий модели и натурального объекта с учетом возможности технического осуществления эксперимента.

Для очистки НСВ на нефтепромыслах широкое применение получили напорные горизонтальные отстойники [2-6] на базе стандартных цилиндрических стальных емкостей объемом 50, 80, 100, 200 м, выпускаемые отечественной промышленностью в соответствии с ОСТ 26-02-376-78, которые могут быть рекомендованы для использования в качестве корпуса разработанных нами аппаратов, установок типа БГКО (блок гидроциклон камеры сливов – отстойник) при их конструировании [7].

Технология очистки НСВ на всех гидроциклонных установках типа БГО, БГС предусматривает предварительную гидродинамическую обработку исходной НСВ в гидроциклонах и последующее кратковременное отстаивание в течение 20-50 мин. в зависимости от типа НСВ [1, 8, 9].

Для увеличения времени гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке поле массовых и поверхностных сил разработаны различные технологические и технические решения установок очистки НСВ, включающие гидроциклон и цилиндрические камеры на верхнем и нижнем сливах гидроциклона (БГКО) [7]. При создании пилотной установки принята схема: «гидроциклон – цилиндрические камеры верхнего и нижнего сливов отстойник», а также принят напорный двухпродуктовый конический гидроциклон диаметром 75 мм, рекомендованный и примененный в составе промышленных установок типа БГО, БГС [1, 8, 9]. При этом масштаб линейных и угловых размеров гидроциклона в пилотной установке и в натуральных условиях принят 1:1.

На верхнем и нижнем сливах гидроциклона предусмотрены цилиндрические камеры диаметрами 50, 80, 100 мм и длиной по 3 м для каждого диаметра (всего шесть камер). Длина камер должна обеспечивать структуру, свободное распространение и дальнобойность закрученных потоков, вытекающих из сливов гидроциклона, их свободный переход в осевое потенциальное течение, исключить влияние разрушающих частиц нефти, сил давления (прижатия) на плоскую торцевую стенку камер сливов,

В пилотной установке возможно поддержание давления на входе в гидроциклон в пределах  $4-5 \text{ кгс/см}^2$ , а противодействие на выходах (концах) камер верхнего и нижнего сливов  $\approx 2 \text{ кгс/см}^2$  [1, 9], а геометрические и технологические параметры могут быть определены по формулам:  $d_{\text{вх}}=0,2D$ ,  $d_{\text{в.сл.}}=0,3D$ ,  $d_{\text{н.сл.}}=0,8d_{\text{в.сл.}}$ ,  $h_{\text{п}}=0,5d_{\text{вх}}$ ,  $H_{\text{ц}}=d_{\text{вх}}$ ,  $\alpha=3-5^\circ$  и по методике, изложенной в работе [9], исходя из заданной производительности и создания режима движения НСВ в полости гидроциклона, характеризующегося числами Рейнольдса порядка 30000-40000 не менее и обеспечения максимальной дальнобойности закрученных потоков на сливах [1, 8, 9].

Анализ фактического материала и расчеты показывают, что среднее время пребывания НСВ в горизонтальных отстойниках для очистки девонских НСВ при производительности от  $50 \text{ м}^3/\text{сут}$  до  $2000 \text{ м}^3/\text{сут}$  составляет от 1,7 ч до 2,5 ч [1, 10]. В установках типа БГО, БГС для получения нормативного качества очищенной НСВ среднее время отстаивания составляет 20-50 мин. (не более 60 мин в зависимости от типа НСВ), а среднее время пребывания НСВ в отстойниках БГО, БГС (при производительности  $3000, 5000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ), как показали расчеты, составляет 30-60 мин. [1,8-10].

В работе отстойника в составе БГО, БГКО имеются существенные особенности, заключающиеся в том, что разделение эмульсии (НСВ) в полости отстойника происходит в зоне турбулентного перемешивания, всплыванием достаточно укрупнившихся в этой зоне капель нефти, переходом их в подвижный сплошной слой нефти; коалесценция в процессе разрушения (разделения, очистки) НСВ в установке типа БГО, БГКО совершенно необходима для получения высокого эффекта очистки [1].

С учетом вышеуказанных обстоятельств в модели отстойника пилотной установки и натурном отстойнике принято одинаковое время пребывания жидкости в зоне разделения (контактной очистки) при турбулентном перемешивании – 5-10 мин., при высоте модели 1250 мм, диаметре 800 мм и объеме 630 л.

В современных отстойных аппаратах, сконструированных на базе указанных выше емкостей, получили распространение трубчатые распределители, расположенные по сечению аппарата. Методика расчета таких распределительных устройств достаточно полно изложена в литературе [11-15].

Модель отстойника снабжена горизонтально расположенными в верхней зоне турбулентного перемешивания перфорированными трубчатыми распределителями нижнего и верхнего сливов с отверстиями с верхней стороны, которые расположены в шахматном порядке под углом  $45^\circ$  к вертикальной оси трубчатого распределителя, при этом распределитель нижнего слива расположен над распределителем верхнего слива. Суммарная площадь отверстий на распределителях определялась при диаметре отверстий 10 мм и коэффициенте перфорации, равном 1,5 [12-15], при этом скорость истечения НСВ из отверстий составляет  $0,665 (\approx 0,7) \text{ м/с}$ , что обеспечивает необходимую дальнобойность струй в зоне турбулентного перемешивания.

Модель отстойника оборудована также перфорированным трубчатым коллектором для сбора и отвода очищенной воды, расположенным на расстоянии 200 мм от дна отстойника. Суммарная площадь отверстий определена при диаметре отверстий 20 мм и коэффициенте перфорации, равном 0,7, при этом скорость в отверстиях составила 1,2 м/с, в коллекторе не более 1,5 м/с, что в пределах рекомендаций [12-16]. Отверстия расположены в шахматном порядке с верхней стороны коллектора, направлены вверх под углом  $45^\circ$  к вертикали. Масштаб линейных и угловых размеров распределительных и сборного устройств в модели и в натуральных условиях принят 1:1.

Таким образом, при создании пилотной установки моделирование БГКО проведено с соблюдением следующих условий: масштаб характерных линейных и угловых размеров модели и натурального БГКО равен 1; продолжительность процессов гидродинамической обработки НСВ, коалесценции капель нефти и очистки НСВ в модели и натурном БГКО одинакова; модель и натуральный объект имеют примерно одинаковую геометрическую форму; в модели и натурном объекте одинакова структура потоков; в модели и натурном объекте предусмотрено использование одной и той же жидкости с одинаковыми физико-химическими свойствами.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Адельшин А.Б. Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод // Дисс. доктора технических наук. – Санкт-Петербург, 1998. – 73 с.
2. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти за рубежом. – М.: Недра, 1983. – 224 с.
3. Инструкция по применению технологии очистки нефтепромысловых сточных вод на базе горизонтальных и вертикальных малогабаритных отстойников с самообновляющимся жидкостным гидрофобным фильтром. РД 153-39.0-249-02, ОАО «Татнефть», «ТатНИПИнефть». – Альметьевск, 2002. – 14 с.
4. Инструкция по применению технологии предварительного обезвоживания нефти и очистки нефтепромысловых сточных вод в условиях ДНС. РД 153-39.0-287-03, ОАО «Татнефть», «ТатНИПИнефть». – Альметьевск, 2003. – 39 с.
5. Тронов В.П., Тронов А.В. Очистка вод различных типов для использования в системе ППД. – Казань: ФЭН, 2001. – 560 с.
6. Унифицированные технологические схемы комплексов сбора подготовки нефти, газа и воды нефтедобывающих районов // РД 39-1-159-79. – Куйбышев: Гипровостокнефть, 1979. – 46 с.
7. Адельшин А.Б., Адельшин А.А., Урмитова Н.С. Новые технологические и технические решения установок очистки нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков. //Известия КазГАСУ, 2010 № 2 (14). – С.197-205.
8. Селюгин А.С. Разработка и моделирование гидроциклонных установок очистки нефтесодержащих сточных вод. //Дисс. канд. техн. наук. – СПб., 1995. – 180 с.
9. Бусарев А.В. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод с применением гидроциклонов с противодавлением на сливах // Дисс. кандидата технических наук. – Санкт-Петербург, 1997. – 229 с.
10. Адельшин А.Б. Энергия потока в процессах интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. Монография. Ч.1. Гидроциклоны. – Казань: КГАСА, 1996. – 200 с.
11. Канализация населенных мест и промышленных предприятий // Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1981. – 640 с.
12. Водоснабжение населенных и промышленных предприятий // Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1977. – 288 с.
13. Гнедин К.В. Режим работы и гидравлики горизонтальных отстойников. – Киев: Будивильник, 1974. – 224 с.
14. Егоров А.И. Гидравлика напорных трубчатых систем в водопроводных очистных сооружениях. – М.: Стройиздат, 1984. – 95 с.
15. Курганова А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения. Справочник. – Л.: Стройиздат, 1986. – 440 с.
16. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение, наружные сети и сооружения. – М., 1985. – 134 с.

**REFERENCES**

1. Adelshin A.B. Intensification of processes of hydrodynamic clearing petrocontaining petrocontaining sewage // Dissertation of a Dr. sci. tech. – St.-Petersburg, 1998. – 73 p.
2. Tronov V.P. Trade preparation of oil abroad. – M: Bowels, 1983. – 224 p.
3. The instruction on application of oil-field sewage clearing technology on the basis of horizontal and vertical small-sized sediment bowls with the self-updated liquid waterproof filter. RD 153-39.0-249-02, Open Society «Tatneft», «TatNIPIneft». – Almet`evsk, 2002. – 14 p.
4. The instruction on application of preliminary dehydration of oil and clearing of oil-field sewage technology in the conditions of pumping out pump stations. RD 153-39.0-287-03, Open Society «Tatneft», «TatNIPIneft». – Almet`evsk, 2003. – 39 p.
5. Tronov V.P., Tronov A.V. Purification of different types for use in system of maintenance of sheeted pressure – Kazan: Science, 2001. – 560 p.
6. Unified technological schemes of complexes for the gathering, treatment of oil, gas and water oil-producing areas // RD 39-1-159-79. – Kybishev: Giprovosroknft, 1979. – 46 p.

7. Adelshin A.B., Adelshin A.A., Urmitova N.S. New technological and technical resolutions of oil-field sewage cleaning plant on the basis of swirling flows usage. // News KGASU, 2010, № 2 (14). – P. 197-205.
8. Selyugin A.S. Working out and modeling of hydrocyclonic installations of clearing of petrocontaining sewage // Dissertation of a cand. tech. sci. – St.-Petersburg, 1995. – 180 p.
9. Busarev A.V. Intensification of clearing of petrocontaining sewage with application of hydrocyclones with counter-pressure on exits // Dissertation of a cand.tech.sci. – St.-Petersburg, 1997. – 229 p.
10. Adelshin A.B. Energy of a stream in processes of an intensification of clearing of petrocontaining sewage. The monography. Part 1. Hydrocyclones. – Kazan. KSABA, 1996. – 200 p.
11. The water drain of the occupied places and the industrial enterprises // The Directory of the designer. – M: Stroyizdat, 1981. – 640 p.
12. Water supply of the occupied and industrial enterprises // The Directory of the designer. – M: Stroyizdat, 1977. – 288 p.
13. Gnedin K.V. Operating mode and hydraulics of horizontal sediment bowls. – Kiev: Budivilnik, 1974. – 224 p.
14. Egorov A.I. Hydraulics of pressure head tubular systems in water treatment facilities. – M: Stroyizdat, 1984. – 95 p.
15. Kurganova A.M., Fedorov N.F. Hydraulic calculations of systems of water supply and water removal. A directory. – L.: Stroyizdat, 1986. – 440 p.
16. SNiP 2.04.02-84. Water supplies, external networks and constructions. – M., 1985. – 134 p.