



УДК 628.32

**Бусарев А.В.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [reder1@myrambler.ru](mailto:reder1@myrambler.ru)

**Селюгин А.С.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [a.selyugin@inbox.ru](mailto:a.selyugin@inbox.ru)

**Урмитова Н.С.** – кандидат технических наук, доцент

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

**Каюмов Ф.Ф.** – аспирант

E-mail: [kayum.91@mail.ru](mailto:kayum.91@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

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

### **К вопросу очистки нефтесодержащих сточных вод в гидроциклонных установках с коалесцирующими насадками**

#### **Аннотация**

Эффективность процесса очистки нефтесодержащих сточных вод за счет воздействия гравитационных сил увеличивается путем применения коалесцирующих насадок, которые служат для предварительной обработки нефтесодержащих сточных вод перед отстаиванием. Их применение значительно интенсифицирует процесс очистки нефтесодержащих сточных вод в установках типа блок гидроциклон-отстойник, способствуя укрупнению мелкодисперсных капель нефтепродуктов. Использование коалесцирующих насадок является одним из направлений совершенствования аппаратов типа блок гидроциклон-отстойник.

**Ключевые слова:** нефтесодержащие сточные воды, очистка, гидроциклон, блок гидроциклон-отстойник, коалесцирующая насадка.

Нефтесодержащие сточные воды образуются на нефтяных промыслах в процессе добычи и подготовки нефти, при мойке автомобилей, от охлаждения технологического оборудования на машиностроительных предприятиях, в резервуарах хранилищах топливного мазута и др. Казанским государственным архитектурно-строительным университетом разработан и внедрен ряд аппаратов типа «блок гидроциклон-отстойник» для очистки нефтесодержащих сточных вод, оборудованных коалесцирующими насадками. При этом в напорных гидроциклонах осуществляется не только разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти и частичное расслоение эмульсий типа «нефть в воде», но также происходит коалесценция капель нефти, увеличение монодисперсности нефтяных эмульсий первого рода, что значительно интенсифицирует последующий процесс очистки нефтесодержащих сточных вод методом отстаивания.

В процессе производства часто образуются сточные воды, загрязненные эмульгированными нефтепродуктами и твердыми взвешенными веществами. Значительные объёмы нефтесодержащих сточных вод (НСВ) образуются на нефтепромыслах в процессе добычи и первичной подготовки нефти [1, 2].

НСВ, образующиеся на нефтепромыслах, утилизируются путем их закачки в нагнетательные или поглощающие скважины. Для обеспечения долговременной приемистости этих скважин необходима очистка нефтепромысловых сточных вод от нефтепродуктов и мехпримесей [3].

К НСВ также относятся стоки, образующиеся в процессе мойки автомобилей, которые загрязнены нефтепродуктами и взвешенными веществами [3]. Очищенные стоки от мойки автомобилей поступают в систему оборотного водоснабжения автомоек.

На многих промышленных предприятиях при транспортировке и хранении мазута, который обычно используется как резервное топливо, образуются мазутосодержащие сточные воды. После их глубокой очистки они могут сбрасываться в системы водоотведения населенных пунктов [3]. В процессе охлаждения технологического оборудования на машиностроительных предприятиях может образовываться достаточно большое количество НСВ, которые после очистки возвращаются в систему оборотного водоснабжения [3].

Образование стойких эмульсий типа «нефть в воде» (Н/В), осуществляется за счет интенсивного диспергирования внутренней фазы [1]. Стабилизация нефтяных эмульсий первого рода происходит, в основном, из-за образования на поверхности нефтяных капель «бронирующих» оболочек, обладающих высокой механической прочностью. Эти оболочки формируются на границе раздела фаз вследствие адсорбции природных эмульгаторов (стабилизаторов) [1].

Разрушение (разделение) эмульсий типа Н/В осуществляется в три этапа. На первом этапе происходит разрушение «бронирующих» оболочек вокруг капель нефти, что способствует снижению агрегативной и кинематической устойчивости нефтяных эмульсий первого рода. На втором этапе осуществляется укрупнение (коалесценция) капель нефтепродуктов, а на третьем – расслоение эмульсий типа Н/В на нефтепродукты и воду под действием сил тяжести [1].

Исходя из данного механизма разрушения нефтяных эмульсий первого рода, на кафедре «Водоснабжение и водоотведение» (ВиВ) Казанского государственного архитектурно-строительного университета (КГАСУ) для очистки НСВ были разработаны установки типа «блок гидроциклон-отстойник» (БГО) [1-3]. Как показали исследования, проводившиеся в КГАСУ, в напорных двухпродуктовых цилиндрикоконических гидроциклонах осуществляется не только разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти и частичное расслоение эмульсий типа Н/В, но также происходит коалесценция (укрупнение) капель нефти, а также увеличение монодисперсности нефтяных эмульсий первого рода, что значительно интенсифицирует последующий процесс очистки НСВ методом отстаивания [1, 2].

Эффективность процесса очистки НСВ за счет воздействия гравитационных сил можно еще увеличить путем применения фильтрующих гидродинамических, т.е. коалесцирующих насадок, в которых нефтесодержащие стоки обрабатываются перед их поступлением в отстойники различных конструкций [4].

В КГАСУ разработан целый ряд аппаратов типа БГО, оборудованных коалесцирующими насадками. На рис. 1 представлен блок гидроциклон-отстойник БГО-300 производительностью 300 м<sup>3</sup>/сут, внедрённый на Донецком экскаваторном заводе (г. Донецк Ростовской области РФ) [4].

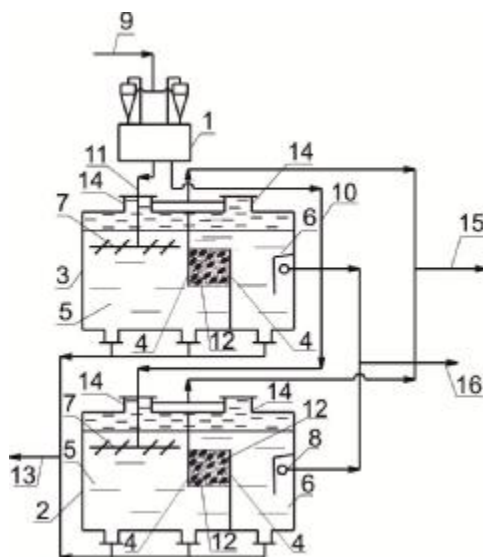


Рис. 1. Схема установки БГО-300

БГО-300 предназначен для очистки НСВ, образующихся в резервуарах топливного мазута при его длительном хранении и позволяет снизить концентрацию нефтепродуктов в сточной воде с 10000 до 10 мг/л, а содержание взвешенных веществ – со 180 до 50 мг/л [4]. БГО-300 состоит из батареи напорных цилиндрикоконических двухпродуктовых гидроциклонов конструкции КГАСУ – 1, отстойника нижнего слива – 2, отстойника верхнего

слива – 3, соединительных трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, а также системы контрольно-измерительных приборов и автоматики (КИПиА). Отстойники нижнего – 2 и верхнего – 3 – сливов перегородками – 4 – разделены на отсеки предварительного отстаивания – 5 и дополнительного отстаивания – 6. В отсеках предварительного отстаивания – 5 размещаются системы распределения исходной воды – 7, которые представляют собой коллекторы с двойными перфорированными ответвлениями. В отсеках дополнительного отстаивания – 6 располагаются системы сбора очищенной воды – 8, которые представляют собой перфорированные трубопроводы [4]. Отстойники работают в безнапорном режиме. Система КИПиА измеряет давление на входе в гидроциклонах, расход очищенной воды и регулирует межфазные уровни в отсеках отстойников [4].

Вода на очистку в установку БГО-300 подается насосом по трубопроводу – 9 под давлением 0,3-0,4 МПа [4]. Под действием сил центробежного поля, возникающего за счёт тангенциального ввода НСВ в напорные цилиндрикоконические гидроциклоны, взвешенные вещества, как более тяжелая фаза, отбрасываются к стенкам корпуса этих аппаратов и удаляются через их нижние сливные отверстия (нижний слив). Нефтепродукты, как более легкая фаза, концентрируются в осевой части гидроциклона, а затем, вместе с частью воды, выносятся через верхние сливные отверстия (верхний слив) гидроциклона [1, 2]. Нижний слив гидроциклонов по трубопроводу – 10 поступает в отстойник – 2, а верхний слив по трубопроводу – 11 – в отстойник 3. В отсеках – 5 всплывают наиболее крупные капли нефтепродуктов, и оседает основная масса взвеси. Далее сточная вода фильтруется через коалесцирующие насадки – 12 и поступает в отсеки – 6. Насадки представляют собой слой гидрофобизированного керамзита фракции 15-20 мм. В них осуществляется укрупнение капель нефтепродуктов, которые затем всплывают в отсеках – 6 [4]. Осадок, накапливающийся в отстойниках – 2-3 под периодически удаляется по трубопроводу – 13. Всплывшие в отстойниках – 2-3 нефтепродукты через нефтесборники – 14 удаляются по трубопроводу – 15. Очищенная вода отводится по трубопроводу – 16.

Для очистки НСВ, образующихся при мойке автотранспорта была разработана установка БГОФ-100 производительностью 108 м<sup>3</sup>/сут (рис. 2), внедренная в автохозяйстве ОАО «Бугульманфтемаш» (г. Бугульма, Республика Татарстан).

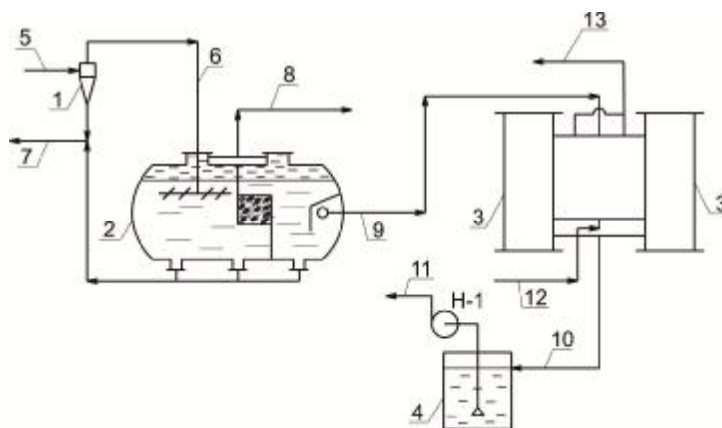


Рис. 2. Схема установки БГОФ-100

Установка позволяет снизить в сточной воде концентрацию взвешенных веществ с 3000 до 10 мг/л, а содержание нефтепродуктов – с 900 до 15 мг/л [4]. В состав установки БГОФ-100 входят: напорный двухпродуктовый цилиндрикоконический гидроциклон конструкции КГАСУ – 1, напорный отстойник – 2, автоматизированная сверхскоростная фильтровальная установка АСФУ-100 производительностью 108 м<sup>3</sup>/сут, состоящая из сверхскоростных фильтров конструкции КГАСУ – 3, емкость для очищенной воды – 4, соединительные трубопроводы, запорно-регулирующая арматура, насосы и система КИПиА [4]. Гидроциклон – 1 предназначен для очистки НСВ от твердых взвешенных веществ. Конструкция отстойника – 2 аналогична конструкции отстойников установки БГО-300. АСФУ-100 предназначена для глубокой очистки НСВ от мойки автомобилей.

Сверхскоростные фильтры, входящие в состав этой установки загружены кварцевым песком. Фильтрация осуществляется сверху вниз. Система КИПиА кроме регулирования тех же параметров, что и у установки БГО-300, обеспечивает промывку сверхскоростных фильтров в автоматическом режиме фильтратом, который на промываемый фильтр подается с работающих [4].

Сточная вода от мойки автомобилей подается на очистку в установку БГОФ-100 насосом по трубопроводу – 5 под давлением не менее 0,6 МПа. Очищенная от взвеси сточная вода (верхний слив гидроциклона) под избыточным давлением не менее 0,4 МПа по трубопроводу – 6 поступает в отстойник – 2. Из нижнего слива гидроциклона сточная вода, сильно загрязненная взвешенными веществами, под избыточным давлением по трубопроводу – 7 подается в песковые бункера. Уловленные в отстойнике – 2 нефтепродукты под избыточным давлением периодически отводятся по трубопроводу – 8 в емкость для нефтепродуктов. Накапливающийся в отстойнике – 2 осадок отводится под избыточным давлением по трубопроводу – 7 в шламонакопитель. Предварительно очищенная вода под избыточным давлением по трубопроводу – 9 подается на доочистку в установку АСФУ-100 очищенная вода из которой под остаточным давлением по трубопроводу – 10 подается в емкость – 4, из которой насосами Н-1 по трубопроводу – 11 подается в систему оборотного водоснабжения автомойки. Для регенерации фильтрующей загрузки в сверхскорые фильтры по трубопроводу – 12 подается сжатый воздух. Загрязненная промывная вода под остаточным давлением отводится из сверхскоростных фильтров по трубопроводу – 13.

Для очистки нефтесодержащих сточных вод систем охлаждения технологического оборудования предназначена гидроциклонная установка БГУ-6 производительностью 6 м<sup>3</sup>/ч (рис. 3), внедренная на Казанском заводе медаппаратуры (г. Казань) [4].

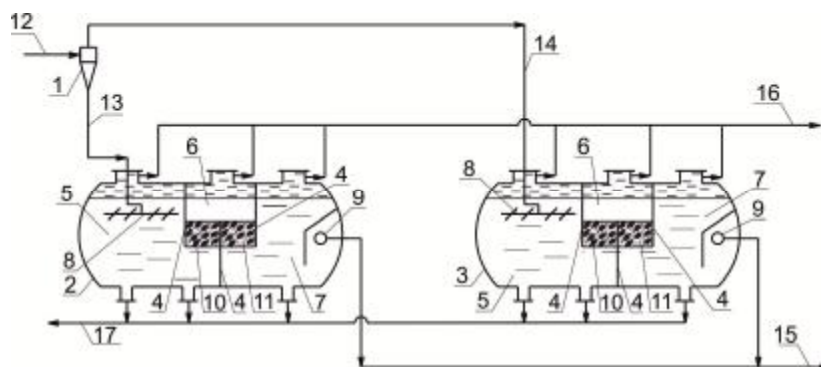


Рис. 3. Схема установки БГУ-6

Концентрация нефтепродуктов в сточной воде на данной установке снижается с 3000 до 20 мг/л, а содержание взвешенных веществ – с 200 до 30 мг/л [4]. Установка БГУ-6 состоит из напорного двухпродуктового цилиндрического гидроциклона конструкции КГАСУ – 1, напорных отстойников нижнего слива – 2 и верхнего слива – 3, трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры и системы КИПиА. Отстойники – 2-3 перегородками – 4 разделены на отсек предварительного отстаивания – 5, отсек с коалесцирующими насадками – 6 и отсек дополнительного отстаивания – 7. В отсеках – 5 располагаются распределительные системы НСВ – 8, а в отсеке – 7 – система сбора очищенной воды – 9. В отсеках – 6 располагаются две коалесцирующие насадки – 10-11. Загрузка коалесцирующей насадки – 10 представляет собой слой гидрофобизированного керамзита фракции 15-20 мм, а насадки – 11 – слой дробленого гидрофобизированного керамзита фракции 3-5 мм [4]. Данная конструкция коалесцирующих насадок обеспечивает более эффективную коалесценцию капель нефти, всплывающих в отсеке – 7. Система КИПиА выполняет те же функции, что и у БГО-300.

НСВ подаются в гидроциклон – 1 под избыточным давлением не менее 0,4 МПа по трубопроводу – 12. Нижний слив гидроциклона под избыточным давлением не менее 0,2 МПа по трубопроводу поступает в отстойник – 2, а верхний слив по трубопроводу – 14 – в

отстойник – 3. Очищенная вода из отстойников – 2-3 под избыточным давлением отводится по трубопроводу – 15. Уловленные в отстойниках – 2-3 нефтепродукты отводятся от них под избыточным давлением по трубопроводу – 16. Осадок, накапливающийся в отстойниках – 2-3, отводится под избыточным давлением по трубопроводу – 17.

Установка БГО-5000 производительностью 5000 м<sup>3</sup>/сут (рис. 4), внедренная на нефтепромыслах ОАО «Татнефть» [5], предназначена для очистки нефтепромысловых сточных вод.

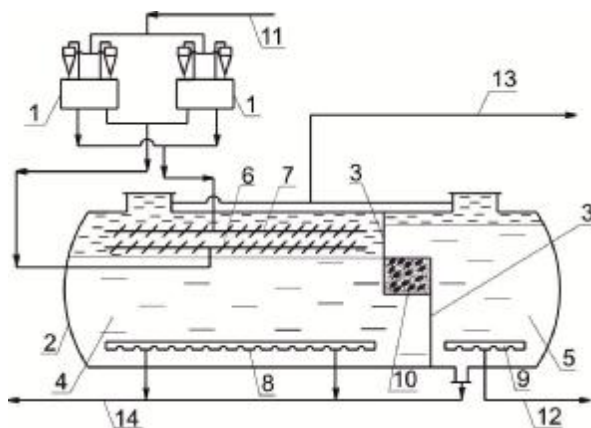


Рис. 4. Схема установки БГО-5000

Установка позволяет снизить концентрацию нефтепродуктов в НСВ с 3000 до 60 мг/л, а содержание взвешенных веществ – с 200 до 50 мг/л [5]. Состоит БГО-5000 из двух батарей напорных двухпродуктовых цилиндрических гидроциклонов конструкции КГАСУ – 1, напорного отстойника – 2, трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, а также системы КИПиА. Отстойник – 2 разделен перегородками – 3 на отсек предварительного – 4 и отсек дополнительного отстаивания – 5. В отсеке – 4 размещаются распределительные системы верхнего – 6 и нижнего – 7 сливов гидроциклонов. Они располагаются в слое нефтепродуктов, который выполняет роль жидкостной контактной массы, обеспечивающей процесс дополнительной коалесценции частиц дисперсной фазы. Для отвода осадка в отсеке – 4 размещается система сбора осадка – 8, которая представляет собой перфорированный трубопровод. Коалесцирующая насадка – 10, через которую проходит НСВ при движении из отсека – 4 в отсек – 5, представляет собой слой гранулированного полиэтилена фракции 3-5 мм [5].

НСВ поступают на очистку в гидроциклоны под избыточным давлением не менее 0,4 МПа по трубопроводу – 11. Гидроциклоны работают, как гидродинамические каплеобразователи [1, 5]. Очищенная вода отводится по трубопроводу – 12 под избыточным давлением не менее 0,2 МПа. Уловленные нефтепродукты отводятся из отстойника под избыточным давлением по трубопроводу – 13. Образующийся в отстойнике осадок под избыточным давлением периодически отводится по трубопроводу – 14. Система КИПиА установки БГО-5000 выполняет те же функции, что и у БГО-300.

Для очистки нефтепромысловых сточных вод от нефти и мехпримесей также предназначена установка БГКО-3000, внедренная на нефтепромыслах ОАО «Татнефть». Конструкция БГКО-3000 и принцип ее действия приведены в работе [6]. Коалесцирующая насадка установки БГКО-3000 представляет собой слой гранулированного полиэтилена диаметром 3-5 мм [5].

Таким образом, гидродинамические коалесцирующие насадки служат для предварительной обработки НСВ перед отстаиванием. Их применение значительно интенсифицирует процесс очистки НСВ в гидроциклонных установках. Конструктивно коалесцирующие насадки размещаются в отстойнике и способствуют коалесценции мелкодисперсных капель нефти, оставшихся в сточной воде после предварительной обработки сточной воды в гидроциклонах и предварительного отстаивания, что повышает эффективность работы установок типа блок гидроциклон-отстойник. Блочные

гидроциклонные установки с коалесцирующими насадками показали свою эффективность для очистки нефтесодержащих сточных вод нефтепромыслов, автомоек, дренажных вод из резервуаров топливного мазута, сточных вод систем охлаждения технологического оборудования. Использование коалесцирующих насадок является одним из направлений совершенствования блочных гидроциклонных установок для очистки нефтесодержащих сточных вод

### Список библиографических ссылок

1. Бусарев А.В. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод с применением гидроциклонов с противодавлением на сливах: дис. канд. техн. наук: 05.23.04: защищена 13.05.97. – Казань, 1997. – 244 с.
2. Селюгин А.С. Разработка и моделирование гидроциклонных установок очистки нефтесодержащих сточных вод: дис. канд. техн. наук: 05.23.04: защищена 18.06.96. – Казань, 1995. – 180 с.
3. Бусарев А.В., Селюгин А.С., Ахсанов М.Ф. Некоторые аспекты очистки нефтесодержащих сточных вод с помощью напорных гидроциклонов / Сб. науч. трудов по мат. научно-практ. конф. «Современное общество, образование и наука»: часть 15. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 26-28.
4. Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Использование гидродинамических насадок с крупнозернистой загрузкой для интенсификации очистки нефтесодержащих сточных вод. Монография. – Казань: КГАСА, 1997. – 249 с.
5. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Урмитова Н.С. Гидродинамическая очистка нефтепромысловых сточных вод на основе применения закрученных потоков. Монография. – Казань: КГАСУ, 2011. – 245 с.
6. Бусарев А.В., Селюгин А.С., Шешегова И.Г., Урмитова Н.С. Гидроциклонные установки подготовки воды для заводнения нефтеносных горизонтов с целью повышения их нефтеотдачи // Нефтегазовое дело, 2015, № 4. – С. 199-215. URL: [http://ogbus.ru/issues/4\\_2015/ogbus\\_4\\_2015\\_p199-215\\_BusarevAV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/4_2015/ogbus_4_2015_p199-215_BusarevAV_ru.pdf).

**Buserev A.V.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [rederr1@myrambler.ru](mailto:rederr1@myrambler.ru)

**Selyugin A.S.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [a.selyugin@inbox.ru](mailto:a.selyugin@inbox.ru)

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

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

**Kayumov F.F.** – post-graduate student

E-mail: [kayum.91@mail.ru](mailto:kayum.91@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### To the question of cleaning oily wastewater in hydrocyclones installation with coalescing packings

#### Resume

Oil-containing waste water formed in the oil fields in the process of extraction and preparation of oil, washing of vehicles, cooling of technological equipment of machine-building enterprises, in tanks the storage of fuel oil, etc. Kazan state University of architecture and engineering developed and implemented a number of devices of «block hydrocyclone-sedimentation tank» type for oily waste water equipped with nozzles coalescent. Thus in the pressure hydrocyclones is not only the destruction of booking shells on the droplets of oil and a partial separation of the emulsion type «oil in water», but also the coalescence of oil droplets, increasing the oil: the emulsions of the first kind, which greatly intensifies the subsequent process of treatment of oil-containing wastewater by sedimentation.

The efficiency of the process oily wastewater due to the impact of gravitational forces is increased by the application of coalescing nozzles, which are used for pretreatment of oily wastewater before sedimentation. Their use greatly intensifies the cleaning process of oily waste water in the installations of the type unit is a hydrocyclone-sedimentation tank, contributing to the enlargement of finely dispersed droplets of oil products. The use of coalescing nozzles is one of the directions of the improvement of devices of type unit hydrocyclone sump.

**Keywords:** oily wastewater, purification, hydrocyclone, block hydrocyclone sump, coalescence nozzle.

### Reference list

1. Busarev V.A. Intensification of oily waste water treatment using hydrocyclones backpressure on the plums: dis. cand. tech. sciences: 05.23.04: protected 13.05.97. – Kazan, 1997. – 244 p.
2. Selyugin A.S. Design and simulation of hydrocyclone installations for purification of oily wastewater: dis. cand. tech. sciences: 05.23.04: protected 18.06.96. – Kazan, 1995. – 180 p.
3. Busarev V.A., Selyugin A.S., Akhsanov M.F. Some aspects of oily waste water using pressure hydrocyclones // Collection of scientific works on materials of scientific-practical conference «Modern society, education and science»: part 15. – Tambov: LLC «Consulting company Ucom», 2015. – P. 26-28.
4. Adelshin A.B., Urmitova N.S. Using of a hydrodynamic nozzle with a coarse load for oily wastewater treatment intensification. Monograph. – Kazan: KGASA, 1997. – 249 p.
5. Adelshin A.A., Adelshin A.B., Urmitova N.S. Hydrodynamic cleaning of oilfield wastewater by applying swirling flows. Monograph. – Kazan: KGASU, 2011. – 245 p.
6. Busarev A.V., Selyugin A.S., Sheshegova I.G., Urmitova N.S. Hydrocyclone equipment for preparation of water for injection into oil-bearing horizons with the aim of increasing oil recovery // The electronic scientific journal «Oil and gas business», 2015, № 4. – P. 199-215. URL: [http://ogbus.ru/issues/4\\_2015/ogbus\\_4\\_2015\\_p199-215\\_BusarevAV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/issues/4_2015/ogbus_4_2015_p199-215_BusarevAV_ru.pdf).