

МОБИЛЬНАЯ УСТАНОВКА ОЧИСТКИ ВОДЫ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Р.А. Александров, Д.Ю. Феклистов, Н.И. Лагунцов, И.М. Курчатov

**Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ",
ПАО "Аквасервис"**

Предложена новая технологическая схема очистки, сочетающая реагентные методы с гидродинамической активацией процессов коагуляции, флокуляции и сорбции с баромембранными методами очистки. Предложен метод организации процесса фильтрации воды после обработки реагентами с использованием тангенциального фильтра, изготовленного по технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Разработаны и исследованы струйные смесители – эжекторы, показана эффективность использования эжекторов в качестве устройств для дозирования и смешения реагентов с обрабатываемой водой. Создан экспериментальный образец установки, который успешно испытан на модельных, а также реальных загрязненных водах. Очищенная вода, полученная на экспериментальном образце установки, полностью соответствует гигиеническим требованиям и нормативам, установленным для питьевой воды.

Ключевые слова: водоочистка, мобильная установка, реагент, струйный смеситель, тангенциальная СВС-фильтрация, осадок

Mobile Installation of Water Treatment in the Aftermath of Emergency Situations

R.A. Alexandrov, D.Yu. Feklistov, N.I. Laguntsov, I.M. Kurchatov

**National Research Nuclear University "MEPhI", 115409 Moscow, Russia,
PJSC "Aqua service", 115230 Moscow, Russia**

A new technological scheme of water treatment is proposed, combining reagent methods with hydrodynamic activation of coagulation, flocculation and sorption processes, with baromembrane methods of purification. A method of organizing the process of filtering water after treatment with reagents using a tangential filter made using self-propagating high-temperature synthesis technology is proposed. Jet agitators - ejectors were developed and investigated, the efficiency of using ejectors as devices for dosing and mixing of reagents with treated water was shown. An experimental model of the installation was created and it was successfully tested on model as well as real polluted waters. Purified water obtained on an experimental sample of the installation fully complies with the hygienic requirements and standards established for drinking water.

Keywords: water treatment, mobile unit, reagent, jet agitator, tangential SHS-filtration, sediment

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-01-4-10

В связи с постоянно растущими требованиями к качеству воды глубокая очистка поверхностных и подземных вод является актуальной проблемой. Ведется поиск высокоэффективных комбинированных и относительно дешевых методов, обеспечивающих интенсификацию процессов реагентной очистки вод, снижение энергозатрат и расходных норм реактивов. В настоящее время установки для очистки воды различаются между собой как применяемыми технологиями очистки, так и набором входящих в них элементов. Как

правило, известные установки в большинстве случаев являются стационарными и требуют значительных площадей для размещения входящего в их состав оборудования, а также относительно больших энергозатрат на получение чистой воды. В связи с этим существует потребность в создании мобильных малогабаритных установок очистки воды, размещающихся в контейнере и способных к легкой транспортировке в нужное место с быстрым выходом на рабочий режим без дополнительного монтажа основных элементов. Особый интерес пред-

ставляют установки, размещающиеся в грузовых автомобилях и предназначенные для получения чистой питьевой воды при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций различного характера.

На основе анализа современной научно-технической литературы можно сделать вывод, что наиболее подходящими для очистки вод, загрязненных техногенными примесями, можно считать реагентные и мембранные методы [1–7]. Для дозирования и смешения реагентов с очищаемыми водами перспективно использование струйных аппаратов — эжек-

торов [8], обеспечивающих процесс интенсивного перемешивания и равномерного распределения реагентов во всем объеме воды, что способствует улучшению качества очищаемой воды, а также заметному снижению расходных норм реагентов и энергопотребления систем водоочистки и водоподготовки.

Цель работы — разработка мобильной установки очистки загрязненных вод, в том числе в результате природных и техногенных чрезвычайных ситуаций, а также интенсификация и повышение эффективности процессов водоочистки благодаря применению наноструктурированных материалов, средств активации процессов, а также оптимального комбинирования современных технологических приемов и аппаратов очистки вод. Предложена новая технологическая схема организации процесса фильтрации воды после обработки реагентом. Используется тангенциальная фильтрация на композиционных керамических двухслойных мембранах, основа которых получена методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Помимо этого, схема включает в себя блоки низконапорного обратного осмоса и ультрафиолетовой обработки для дополнительного обесцвечивания и обеззараживания воды.

Общий недостаток большинства существующих установок и станций очистки воды — отсутствие блока обработки и утилизации осадков, полученных в процессе очистки, в результате чего осадок и грязные промывные воды сбрасываются в окружающую среду в местах проведения водоочистки, способствуя тем самым вторичному загрязнению водисточников. Предложенная схема решает вопрос утилизации осадков.

В процессе работы разработаны и исследованы струйные смесители — эжекторы, обеспечивающие быстрое перемешивание реагента с обрабатываемой водой и его равномерное распределение в массе воды, что является первым и очень важным условием формирования частиц новой фазы. Рациональная организация режима смешения ускоряет коагуляционные процессы и приводит к снижению расхода и

экономии реагентов. В данной работе также осуществляется интенсификация процессов реагентной очистки путем создания интенсивного гидродинамического поля при помощи водовоздушного эжектора, работающего в режиме, близком к гидродинамической кавитации [9]. Эффективное смешивание очищаемой воды с воздухом при помощи водовоздушного эжектора приводит к разрушению аквакомплексов, представляющих собой комплексные соединения загрязнителей, содержащих в качестве лигандов несколько молекул воды, и более полному окислению растворенных в воде загрязняющих веществ различной природы (аэрация).

Технологическая схема

Принципиальная технологическая схема очистки содержит несколько блоков, с помощью которых реализуется эффективная очистка воды от различного рода загрязнителей, таких как ионы металлов, нефтепродукты, соли, органические вещества и др.

Блок предварительной очистки предназначен для очистки обрабатываемой воды от грубодисперсных механических и коллоидных частиц, таких как песок, ил, глина и т.д. Блок включает в себя два фильтра: фильтр грубой очистки для удаления крупного механического мусора и фильтр механической очистки с меньшей пропускающей способностью для удаления более мелких частиц. Сетчатый фильтр грубой очистки устанавливается перед входным всасывающим насосом с целью защиты насоса от попадания крупных частиц, которые могут нарушить его работу. Фильтр механической очистки устанавливается после входного насоса и представляет собой магистральный фильтр волоконного типа.

Блок реагентной обработки и блок флотационного отделения осадка и пены предназначены для укрупнения и последующего извлечения тонкодисперсных загрязнений, которые не могут быть выделены посредством механической фильтрации, и представляют собой устройство эжекторного дозирования и смешения реагентов и активирующих

добавок [8]. В устройстве используются два вида эжекторов: водоводяной и водовоздушный [10]. Водоводяной эжектор применяется в качестве дозатора и смесителя жидких реагентов с обрабатываемой водой. Водовоздушный эжектор используется для окисления примесей загрязненных вод и создания кавитационного "тумана" — сжатой водовоздушной эмульсии, способствующей повышению дисперсности частиц загрязнителей воды и разрушению аквакомплексов и молекул биозагрязнителей.

Блок тангенциальной СВС-фильтрации предназначен для извлечения образовавшейся в результате реагентной обработки скоагулированной взвеси и отделения её от жидкой фазы. В качестве фильтра тонкой очистки используется тангенциальный СВС-фильтр, в котором в качестве фильтроэлемента применяется мембрана, изготовленная по СВС-технологии из пористого карбида титана с нанесенным селективным слоем. Фильтр имеет один вход (исходная вода) и два выхода (концентрат и фильтрат). Принцип работы фильтра заключается в следующем. Вода под давлением (около 6 бар) попадает через входной патрубок в зазор между корпусом фильтра и фильтроэлементом и очищается, проходя через поры фильтроэлемента, и далее через отводной патрубок выходит в виде фильтрата. Количество фильтрата зависит от степени загрязненности воды. Если количество фильтрата составляет около 50 % от расхода питательной воды, то потеря давления на фильтре не превышает 0,5 бар, что дает возможность использовать блок низконапорного обратного осмоса на остаточном напоре. Загрязнения воды различной природы задерживаются на поверхности селективного слоя фильтроэлемента и смываются концентратом через патрубок вывода концентрата. Фильтр может применяться для очистки (доочистки) питьевой и сточной воды от механических примесей, соединений железа, нефтепродуктов и хлорорганических соединений в диапазоне температур 4–100 °С.

Блоком обеззараживания служит УФ-стерилизатор, представ-

имущества достигаются благодаря использованию современных наноструктурированных реагентов, характерное время реакции которых с обрабатываемой водой составляет не более 10 мин, что позволяет усовершенствовать конструкцию флотатора и заметно снизить его габариты. Монтаж частей установки в местах проведения очистки занимает не более 5 мин, а время выхода на рабочий режим не более 10 минут. Для сравнения в табл. 1 приведены некоторые характеристики установок аналогов, заявляемых как мобильные станции очистки воды.

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что разработанная установка имеет меньшие габаритные размеры, чем приведенные аналоги, а также требует значительно меньших удельных энергозатрат.

Стоит отметить, что большинство существующих мобильных станций водоочистки и водоподготовки относятся к блочно-модульному типу, что существенно затрудняет их транспортировку и монтаж, а также заметно увеличивает их стоимость. Что касается разработанной установки, то она может с легкостью помещаться в грузовые автомобили и использоваться специальными службами МЧС в качестве установки для очистки различных видов вод при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, а также природных и техногенных катастроф, таких как наводнение, разлив нефтепродуктов, разрушение инфраструктуры централизованной водоподготовки.

Активизация и интенсификация водоочистки

Активизация и интенсификация процессов очистки с использованием реагентов в интенсивном гидродинамическом поле — одна из ключевых задач работы. В качестве устройств для смешения и дозирования реагентов и активирующих добавок в системе используются водоводяной и водовоздушный эжекторы, играющие важную роль в процессе получения чистой воды.

Водоводяной эжектор используется в качестве дозатора и смесителя жидких реагентов с обрабатываемой водой. Зачастую

для более полной очистки вод необходимо вводить в обрабатываемую воду несколько реагентов, например неорганический коагулянт и водорастворимый полимерный флокулянт и/или реагент для корректировки водородного показателя pH, поэтому в заявляемом устройстве предусмотрено введение в обрабатываемую воду трех реагентов. Использование водоводяного эжектора позволяет существенно снизить энергозатраты на обработку воды, повысить компактность системы, увеличить производительность за счет увеличения скорости реакции.

Водовоздушный эжектор используется для окисления примесей загрязненных вод и создания кавитационного "тумана" — сжатой водовоздушной эмульсии. Кавитационный "туман" подразумевает, что очень мелкие пузырьки пара располагаются в жидкости, т.е. имеет место двухфазное состояние. В данном устройстве достигается кавитационный (двухфазный) режим течения жидкости с числом кавитации, близким к единице. Благодаря явлению кавитационного "тумана" повышается дисперсность частиц загрязнителей воды и их диспергирование и, как следствие, происходит увеличение числа активных центров, на которых далее происходит химическая реакция, вследствие чего уменьшается время реакции и, следовательно, время процесса водоочистки.

Методика расчета водоводяного и водовоздушного эжектора описана в статье [8]. При расчете широко использовались методы численного моделирования устройств, основанные на применении уравнений баланса массы, импульса и энергии.



Рис. 2. Экспериментальный образец установки

Fig. 2. Pilot installation sample

Одной из задач экспериментальных исследований являлся поиск оптимальных режимов работы гидродинамических устройств — эжекторов, определение рациональной дозировки реагентов и качества их смешения с обрабатываемой водой при помощи водоводяного эжектора, а также создание кавитационного эффекта при прохождении жидкости через водовоздушный эжектор. Другая задача состояла в получении данных о зависимости коэффициента инжекции, т.е. отношения инжектируемого потока реагента к активному потоку обрабатываемой воды водоводяного эжектора от давления на входе в эжектор. По данной зависимости можно судить об интенсивности смешения реагента

Таблица 1. Характеристики мобильных станций очистки воды
Table 1. Characteristics of mobile water treatment plants

Показатель	Блочно-модульная мобильная станция водоподготовки "Аквамобил тип О-1"	Станция комплексной водочистки серии "КОВ"	BLUE B POWER, EMWG Srl. (Италия)	Мобильная установка очистки воды
Удельные энергозатраты, кВт·ч/м ³	5,05	4,00	6,00	2,57
Габаритные размеры, м	2,6 × 2,4 × 6,0	3,0 × 2,5 × 2,6	1,1 × 2,8 × 1,4	2,1 × 0,8 × 1,1

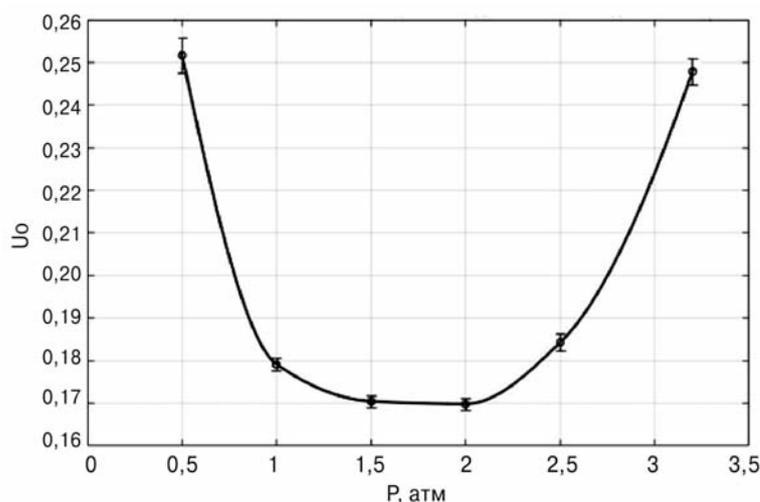


Рис. 3. Зависимость коэффициента инжекции U_0 от давления P на входе в эжектор

Fig. 3. Dependence of the injection coefficient U_0 on the pressure P at the inlet to the ejector

и эффективности реагентной обработки воды.

Экспериментально установлено, что при увеличении давления пропорционально растет активный и инжектируемый поток, причем характер роста различный. Следствием этого является вид результирующего графика зависимости коэффициента инжекции U_0 водоводяного эжектора от давления на входе в эжектор. При первоначальном увеличении давления от 0,5 до 1 атм коэффициент инжекции начинает снижаться, достигая минимума при значении избыточного давления 1,5 атм (рис. 3). После этого при дальнейшем увеличении давления коэффициент инжекции остается постоянным, и лишь при значениях избыточного давления свыше 2,0 атм коэффициент инжекции начинает повышаться до более высоких значений, что связано с режимом увеличением потока инжектируемой среды.

Таким образом, регулируя давление на входе в эжектор, можно установить необходимый поток воды, который требуется очистить за единицу времени, а также соответствующее этому потоку количество инжектируемой среды (реагентов), требуемых для очистки. Для установления нужного порядка коэффициента инжекции, т.е. для снижения величины инжектируемого потока реагентов в системе предусмотрено использование регулировочных клапанов. Путем частичного перекрытия

клапанов можно получить семейство кривых, подобных кривой, изображенной на рис. 3, отличающихся диапазоном значений коэффициентов инжекции. Данные кривые будут расположены ниже, так как изображенная на графике кривая получена при полностью открытых регулировочных клапанах и, следовательно, соответствует максимальным значениям потоков реагентов. Установлено, что диапазон охватываемых коэффициентов инжекции во всем интервале изменения давления составляет от 0,001 до 0,170, что соответствует дозировкам реагентов от 1 до 170 мл на литр обрабатываемой воды.

Исследование эффективности очистки модельных и реальных вод в экспериментальном образце установки

При использовании реагентного метода очистки воды необходимо рассчитать количество реагента, необходимого для обработки воды. Для точного прогноза использования тех или иных реагентов расчетные дозы устанавливаются на основе данных, получаемых в результате пробной обработки воды в лабораторных условиях (пробное коагулирование) [12], с учетом допустимых остаточных доз реагентов в питьевой воде, установленных нормативами [13]. В данной работе в качестве основного использовался гибридный алюмокремниевый реагент [14, 15]. Эксперименталь-

но установлено, что оптимальная доза 10 %-ного раствора реагента для очистки воды от тяжелых металлов составляет 10–15 мл/л. Для очистки от нефтепродуктов оптимальной является доза 25 мл/л. Для удаления солей жесткости оптимально использовать дозировку реагента 15 мл/л.

Учитывая сложный состав загрязнений в реальных водах, отработка методик очистки проводилась сначала на отдельных, модельных соединениях, а затем уже на смесях, содержащих все виды модельных загрязнений. Для наблюдения за качеством воды, полученной в результате очистки на экспериментальном образце установки, проводился анализ по следующим показателям: рН, жесткость, содержание железа общего, меди, марганца, нефтепродуктов и остаточное содержание алюминия. Для анализа воды на разных этапах очистки был предусмотрен отбор проб обрабатываемой воды. Зоны отбора проб обозначены на рис. 1:

I — проба исходной загрязненной воды;

II — проба воды после реагентной очистки;

III — проба фильтрата после фильтрационного модуля.

Результаты анализа очищенной воды после реагентной очистки (зона отбора пробы II) и фильтрационного модуля (зона отбора пробы III) сравнивались с нормативными показателями качества воды, установленными СанПиН 2.1.4.1074-01. Помимо этого сравнивались показатели очистки модельных вод, полученные после реагентной обработки на экспериментальном образце установки (зона отбора пробы II) с показателями очистки, полученными в результате пробного коагулирования.

Исследование очистки модельных вод. Для проведения экспериментальных исследований процессов очистки модельных вод, содержащих тяжелые металлы, нефтепродукты и соли жесткости, были приготовлены соответствующие модельные растворы с концентрацией загрязнителей в 10 и более раз выше норм, установленных [13]. На

инжектирующий вход смеси-тельного эжектора подавались дозы реагента, определенные в процессе пробного коагулирования. В процессе очистки вод были получены следующие результаты.

1. Степень очистки от железа, марганца и меди после реагентной обработки (зона отбора пробы II) составила 98, 95 и 93 % соответственно, что свидетельствует об эффективности использования эжектора как смешительного устройства, так как в аналогичных экспериментах в лабораторной посуде (пробное коагулирование) степень очистки от меди не превышала 71 %. Содержание остаточного алюминия в обработанной воде уменьшилось по сравнению с начальным значением (с 0,2 до 0,1 мг/л), что свидетельствует об эффекте объемной сорбции алюминия. Степень очистки воды после тангенциального СВС-фильтра (зона отбора пробы III) по всем показателям составила более 99 %. Значения показателей очищенной воды оказались на несколько порядков ниже нормы ПДК.

2. Степень очистки воды от нефтепродуктов после реагентной обработки составила 96 %, после тангенциального фильтра – 99 %. Значение концентрации нефтепродуктов в очищенной воде на два порядка ниже нормы ПДК, что свидетельствует об эффективной очистке воды от нефтепродуктов.

3. Жесткость воды после реагентной обработки снизилась на 83%. Для сравнения в экспериментах с пробным коагулированием жесткость воды при идентичной обработке снизилась всего на 55 %. Таким образом, путем реагентной обработки с вводом реагента при помощи эжектора удалось снизить жесткость воды до значения, соответствующего норме [13]. Жесткость воды после фильтрационного модуля снизилась на 96 % по сравнению с начальным значением.

В сводной табл. 2 представлены достигнутые показатели степеней очистки воды от некоторых загрязнителей после реагентной обработки на экспериментальном образце установки в сравнении с показателями, полу-

Таблица 2. Степень очистки некоторых модельных вод, %
Table 2. The degree of purification of some model waters, %

Показатель	Пробное коагулирование	Реагентная обработка
Нефтепродукты, мг/дм ³	87	96
Тяжелые металлы (медь), мг/дм ³	71	93
Соли жесткости, моль/м ³	55	83

Таблица 3. Результаты очистки загрязненных вод
Table 3. Polluted Water Treatment Results

Показатель	Норматив по СанПиН 2.1.4.1074-01	Вода*		
		Исходная загрязнённая (I)	После реагентной очистки (II)	После фильтрационного модуля (III)
pH	6,0–9,0	6,91	6,63	7,30
Жесткость общая, ммоль/дм ³	7,0	12,0	7,8	4,5
Содержание, мг/дм ³ :				
нефтепродуктов	0,1	>20	0,8	0,05
железа общего	0,3	6,0	0,1	0,01
марганца	0,1	5,0	0,1	0,01
меди	1,0	28,0	5,4	0,2
алюминия	0,5	0,2	0,05	0,01

* I–III – зоны отбора проб воды (см. рис. 1).

ченными в процессе пробного коагулирования.

Эффективность очистки воды при использовании устройства эжекционного дозирования и смешения реагентов выше, чем эффективность очистки, полученная при непосредственном дозировании реагента в лабораторной посуде (пробное коагулирование). Как говорилось ранее, данный факт связан с тем, что процесс смешения реагента с обрабатываемой водой в эжекторе протекает более интенсивно и равномерно, что позволяет существенно повысить эффективность очистки. В связи с этим предпочтителен способ ввода реагента через эжектор. При этом эффективность очистки воды от солей жесткости и тяжелых металлов повышается более чем на 20 %, а от нефтепродуктов – примерно на 10 %.

Исследование очистки реальных вод с комплексными загрязнителями. Финальный этап испытаний экспериментального образца — исследование эффективности очистки вод, содержащих все виды загрязнителей. В качестве таких вод были использованы воды из пруда отстойника завода цветной металлургии. На инжектирующий вход смешительного эжектора подавался алюмокремниевый реагент дозой 15 мл на литр об-

рабатываемой воды. Анализ состава исходной загрязненной и очищенной воды проводился на спектрофотометре Spekol 1300. В табл. 3 представлены результаты финальных испытаний экспериментального образца установки по очистке реальных загрязненных вод.

Исходя из данных, приведенных в табл. 3, можно сделать вывод о том, что показатели воды, полученные после очистки на экспериментальном образце установки, полностью удовлетворяют нормам [13]. На основании этого можно заключить, что полученная после очистки вода может быть использована в качестве питьевой, а также для различных хозяйственно-бытовых и технологических нужд.

Выводы

Таким образом, разработанная мобильная малогабаритная установка очистки воды является универсальной и многофункциональной и может с успехом применяться как экстренными службами при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, так и в полевых условиях для получения чистой питьевой воды. Кроме того, разработанная технология может быть использована в процессах ядерного опреснения воды на стадии предварительной подготовки для

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение №14.575.21.0086 от 20 октября 2014 года. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI157514X0086.

Авторы благодарят за содействие в проведении работы канд. хим. наук Е.А. Ананьеву, В.И. Уварова и В.А. Саломасова.

Литература

1. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.С. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., Наука, 2005. С. 575.
2. Гандурина Л.В., Пислегина О.А. Коагулирующе-флокулирующие реагенты для очистки воды. Вода. Технология и экология. 2007. № 1. С. 36–55.
3. Мусина У.Ш. Щелочные реагенты для очистки промышленных сточных вод. Известия Российского Государственного Педагогического Университета Им. А.И. Герцена. 2013. № 163. С. 83–93.
4. Назаренко О.Б., Зарубина Р.Ф. Применение бадинского цеолита для удаления фосфатов из сточных вод. Известия Томского политехнического университета. 2013. 322(3). С. 11–14.
5. Лебедева Е.Ю., Кобякова А.А., Усова Н.Т., Казьмина О.В. Синтез тоберморитового адсорбента для очистки воды. Известия Томского политехнического университета. 2014. 324(3). С. 137–141.
6. Хохрякова Е.А., Резник Я.Е. Водоподготовка. Справочник. Под ред. С.Е. Беликова. М., Аква-Терм, 2007. 240 с.
7. Андрианов А.П., Спицов Д.В., Первов А.Г., Юрчевский Е.Б. Мембранные методы очистки поверхностных вод. Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 7. С. 29–37.
8. Alexandrov R.A., Laguntsov N.I., Kurchatov I.M. The development of ejection reagent input in water treatment systems. Physics Procedia. 2015. № 72. P. 103–107.
9. Рождественский В.В. Кавитация. Л., Судостроение, 1977. С. 248.
10. Мушинка Т.И. Струйные аппараты. 3-е изд., перераб. М., Энергоатомиздат, 1989. С. 352.
11. Пат. № 169396 РФ. Мобильная установка очистки воды. Лагунцов Н.И., Курчатov И.М., Феклистов Д.Ю., Александров Р.А.; заявл. 29.06.2016, опубл. 16.03.2017, Бюл. № 8. 9 с.
12. Жулин А.Г., Елизарова О.Д., Глушенко Е.С. К выбору емкости для пробного коагулирования. Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 4. С. 3–12.
13. Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование российской федерации. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. М., Минздрав России, 2002.
14. Пат. № 2661584 РФ. Способ получения гибридного алюмокремниевоего реагента для очистки природных и промышленных сточных вод и способ очистки природных и промышленных сточных вод этим реагентом. Лагунцов Н.И., Курчатov И.М., Феклистов Д.Ю., Александров Р.А.; заявл. 04.04.2017, опубл. 17.07.2018. Бюл. № 20. 14 с.
15. Шпирный В.Д., Феклистов Д.Ю., Лагунцов Н.И., Курчатov И.М., Александров Р.А. Активированная технология очистки воды с использованием гибридного реагента. XV Междунар. заочная науч.-практ. конф. "Развитие науки в XXI веке". Харьков, НИЦ "Знание", 2016. С. 20–23.

References

1. Draginskii V.L., Alekseeva L.P., Getmantsev S.S. Koagulyatsiya v tekhnologii ochistki prirodnykh vod. M., Nauka, 2005. S. 575.
2. Gandurina L.V., Pislegina O.A. Koaguliruyushche-flokuliruyushchie reagenty dlya ochistki vody. Voda. Tekhnologiya i ekologiya. 2007. № 1. S. 36–55.
3. Musina U.Sh. Shchelochnye reagenty dlya ochistki promyshlennykh stochnykh vod. Izvestiya Rossiiskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta Im. A.I. Gertsena. 2013. № 163. S. 83–93.
4. Nazarenko O.B., Zarubina R.F. Primenenie badinskogo tseolita dlya udaleniya fosfatov iz stochnykh vod. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2013. 322(3). S. 11–14.
5. Lebedeva E.Yu., Kobyakova A.A., Usova N.T., Kaz'mina O.V. Sintez tobermoritovogo adsorbenta dlya ochistki vody. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2014. 324(3). S. 137–141.
6. Khokhryakova E.A., Reznik Ya.E. Vodopodgotovka. Spravochnik. Pod red. S.E. Belikova. M., Akva-Term, 2007. 240 s.
7. Andrianov A.P., Spitsov D.V., Pervov A.G., Yurchevskii E.B. Membrannye metody ochistki poverkhnostnykh vod. Vodospabzhenie i sanitarnaya tekhnika. 2009. № 7. S. 29–37.
8. Alexandrov R.A., Laguntsov N.I., Kurchatov I.M. The development of ejection reagent input in water treatment systems. Physics Procedia. 2015. № 72. R. 103–107.
9. Rozhdestvenskii V.V. Kavitatsiya. L., Sudostroenie, 1977. S. 248.
10. Mushinska T.I. Struinye apparaty. 3-e izd., pererab. M., Energoatomizdat, 1989. S. 352.
11. Pat. № 169396 RF. Mobil'naya ustanovka ochistki vody. Laguntsov N.I., Kurchatov I.M., Feklistov D.Yu., Aleksandrov R.A.; zayavl. 29.06.2016, opubl. 16.03.2017, Byul. № 8. 9 s.
12. Zhulin A.G., Elizarova O.D., Glushchenko E.S. K vyboru emkosti dlya probnogo koagulirovaniya. Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2016. № 4. S. 3–12.
13. Gosudarstvennoe sanitarno-epidemiologicheskoe normirovanie rossiiskoi federatsii. Sanitarno-epidemiologicheskies pravila i normativy SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodospabzheniya. M., Minzdrav Rossii, 2002.
14. Pat. № 2661584 RF. Sposob polucheniya gibridnogo alyumokremnievogo reagenta dlya ochistki prirodnykh i promyshlennykh stochnykh vod i sposob ochistki prirodnykh i promyshlennykh stochnykh vod etim reagentom. Laguntsov N.I., Kurchatov I.M., Feklistov D.Yu., Aleksandrov R.A.; zayavl. 04.04.2017, opubl. 17.07.2018. Byul. № 20. 14 s.
15. Shpirnyi V.D., Feklistov D.Yu., Laguntsov N.I., Kurchatov I.M., Aleksandrov R.A. Aktivirovannaya tekhnologiya ochistki vody s ispol'zovaniem gibridnogo reagenta. XV Mezhdunar. zaochnaya nauch.-prakt. konf. "Razvitie nauki v XXI veke". Khar'kov, NITs "Znanie", 2016. S. 20–23.

R.A. Alexandrov – инженер, Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 115409 Россия, г. Москва, Каширское шоссе 31, e-mail: RAAleksandrov1@mephi.ru • Д.Ю. Феклистов – науч. сотрудник, ПАО "Аквасервис", 115230 Россия, г. Москва, Каширское шоссе 3, корп. 2, стр. 4, e-mail: trydmi@mail.ru • Н.И. Лагунцов – науч. сотрудник, e-mail: nilaguntsov@mephi.ru • И.М. Курчатov – ген. директор ПАО "Аквасервис", e-mail: sworm@yandex.ru

R.A. Alexandrov – Engineer, National Research Nuclear University "MEPhI", 115409, Moscow, Russia, Kashirskoye highway 31, e-mail: RAAleksandrov1@mephi.ru • D.Yu. Feklistov – Research Fellow, PJSC "Aqua service", 115230, Moscow, Russia, Kashirskoye highway 3, building. 2, p. 4, e-mail: trydmi@mail.ru • N.I. Laguntsov – Research Fellow, e-mail: nilaguntsov@mephi.ru • I.M. Kurchatov – Chief Executive Officer of PJSC "Aqua service", e-mail: sworm@yandex.ru