

УДК 628.3

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

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

**Нуруллин Ж.С.** – доцент

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

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

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

## К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрено современное состояние и пути интенсификации работы водопроводных очистных станций путем применения новых высокоэффективных коагулянтов и флокулянтов. Приведена схема и дано описание экспериментальной установки для подготовки питьевой воды. Рассмотрены вопросы моделирования технологических аппаратов, входящих в состав экспериментальной установки.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водопроводные очистные сооружения, коагулянты, флокулянты, экспериментальная установка, критерии подобия, моделирование аппаратов для подготовки питьевой воды.

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

**Nurullin Zh.S.** – associate professor

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

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

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

## TO THE QUESTION OF MODELING THE PROCESSES OF PREPARATION OF POTABLE WATER

### ABSTRACT

The current state and ways of an intensification of work of water clearing stations by application new highly effective coagulants and flocculants are considered. The scheme is resulted and the description of experimental installation for potable water preparation is given. Questions of modeling of the technological devices being included in experimental installation are considered.

**KEYWRDDES:** water treatment facilities, coagulants, flocculants, experimental installation, criteria of similarity, modeling of devices for potable water preparation.

Одной из важнейших проблем нашего времени является обеспечение населения питьевой водой гарантированного качества в соответствии с современными нормативными требованиями. Существующие водопроводные очистные сооружения (ВОС) в большинстве своем не являются достаточным барьером по задержанию ряда химических веществ, бактериологических загрязнений, соединений азота, фосфора, солей тяжелых металлов, гидробионтов, фенолов, нефтепродуктов и т.д. Обследование 150 водоканалов городов России показало, что при использовании поверхностных вод в 33 % случаев требуется применение методов глубокой очистки воды; в 52 % случаев необходимо совершенствование реагентной обработки воды и существующих традиционных методов ее очистки; в 15 % случаев качество поверхностных вод удовлетворительное и необходимости в дополнительных методах очистки нет, но требуется совершенствование принятых методов очистки с применением современных технологий [1].

Исследования по интенсификации работы ВОС ведутся в различных направлениях. Внедрение новых технологий, аппаратов и сооружений водоподготовки требует больших материальных затрат; менее затратным является применение новых более эффективных реагентов – коагулянтов и флокулянтов.

На российском рынке водоподготовки предлагается широкий выбор высокоэффективных реагентов как зарубежного, так и отечественного производства. Применение органических полимерных коагулянтов (по сравнению с неорганическими) позволяет значительно уменьшить дозу коагулянта; они не добавляют в воду растворенных металлов (алюминия или железа), не изменяют рН очищенной воды, образуют меньше осадка, более удобны в эксплуатации.

Современные флокулянты позволяют улучшить качество воды, уменьшить время отстаивания, повысить эффективность фильтрации, но из-за сложного химического состава обрабатываемой воды требуется проведение экспериментальных исследований для определения степени функциональности флокулянта в зависимости от его молекулярной массы и заряда.

Кроме того, для промышленного применения новых типов реагентов необходимо установить их дозу, время контакта с обрабатываемой водой и другие эксплуатационные характеристики, поэтому более безопасным и рациональным является исследование процессов водоподготовки на экспериментальной установке, моделирующей действующие водопроводные очистные сооружения.

По заданию МУП «Водоканал» г. Казани кафедрой водоснабжения и водоотведения КазГАСУ разработан технический проект экспериментальной установки, предназначенной для моделирования процессов подготовки питьевой воды на V очереди Волжского водозабора г. Казани производительностью 125 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Технология подготовки питьевой воды на Волжском водозаборе г. Казани включает первичное хлорирование, коагулирование, отстаивание и фильтрацию воды и, согласно [2], рекомендуется при мутности исходной воды до 1500 мг и цветности до 120 градусов по платиново-кобальтовой шкале. На сегодняшний день, по данным анализов, фактическая мутность речной воды в районе водозабора в основном не превышает 100 мг/л, а цветность – 120 градусов.

Для совершенствования процессов эксплуатации существующих водопроводных очистных сооружений Волжского водозабора г. Казани разработана экспериментальная установка, технологическая схема которой приведена на рисунке 1. Данная установка предназначена для исследования новых реагентов и совершенствования процессов подготовки питьевой воды.

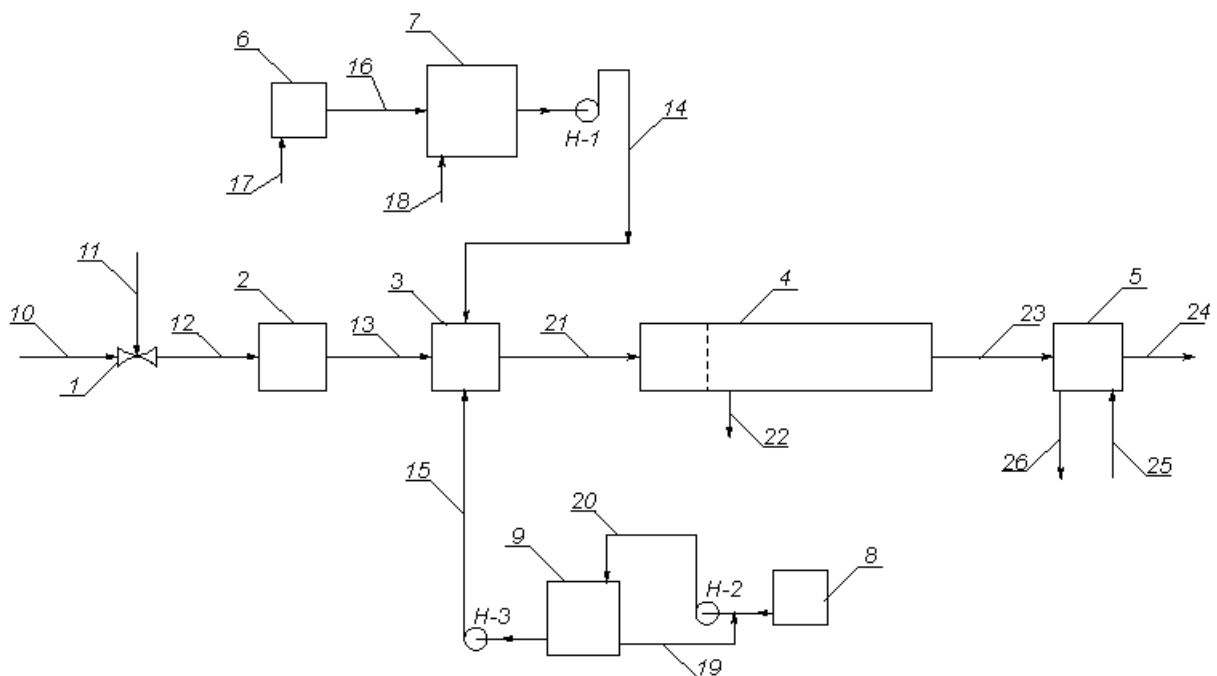


Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки

В состав установки входят: струйный насос 1, контактная камера 2, модель вихревого смесителя 3, модель горизонтального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования 4, модель скорого фильтра 5, растворный 6 и расходный 7 баки коагулянта, растворный 8 и расходный 9 баки флокулянта, трубопроводы, насосы и запорно-регулирующая арматура.

Исходная речная вода от насосной станции I подъема по трубопроводу 10 подается в струйный насос 1, в который по трубопроводу 11 подводится хлорная вода. В струйном насосе происходит смешение речной воды с хлорной. Смесь хлорной и речной воды по трубопроводу 12 поступает в контактную камеру 2, в которой осуществляется контакт хлора с сырой водой с целью снижения цветности воды и окисления органических примесей, затрудняющих процесс последующей коагуляции взвеси. Из контактной камеры 2 вода по трубопроводу 13 самотеком поступает в модель вихревого смесителя 3. По трубопроводу 14 в смеситель подается раствор коагулянта, а по трубопроводу 15 – раствор флокулянта.

Концентрированный раствор коагулянта готовится в растворном баке 6 и по трубопроводу 16 поступает в расходный бак 7, в котором производится разбавление раствора коагулянта водопроводной водой до рабочей концентрации. Приготовленный таким образом раствор коагулянта насосом-дозатором Н-1 подается в модель смесителя 3. Перемешивание растворов коагулянта в растворном 6 и расходном 7 баках предусмотрено сжатым воздухом, подаваемым по воздухопроводам 17 и 18.

Концентрированный раствор флокулянта готовится в растворном баке 8, оборудованном механической мешалкой. Насосом Н-2 он по трубопроводу 19 перекачивается в расходный бак 9, где разбавляется водопроводной водой и далее насосом-дозатором Н-3 по трубопроводу 15 дозируется в обрабатываемую воду. Усреднение концентрации раствора флокулянта в расходном баке 9 предусмотрено путем гидравлического перемешивания. Для этого раствор реагента насосом Н-2 забирается из нижней части емкости по трубопроводу 19 и закачивается по трубопроводу 20 в его верхнюю часть.

Обработанная реагентами вода по трубопроводу 21 подается в модель горизонтального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования 4. В камере хлопьеобразования происходит укрупнение взвешенных примесей, которые затем выделяются из воды путем осаждения в отстойнике. Осадок, задержанный в отстойнике 4, по трубопроводу 22 периодически сбрасывается на обработку в систему производственной канализации очистной станции, а осветленная вода по трубопроводу 23 поступает в модель скорого фильтра 5 с однослойной песчаной загрузкой.

Очищенная в скором фильтре 5 вода отводится по трубопроводу 24. Периодически, по мере загрязнения, фильтрующая загрузка фильтра промывается чистой водопроводной водой, которая подводится по трубопроводу 25 от водопровода очистной станции. Отработанная промывная вода по трубопроводу 26 сбрасывается в систему производственной канализации.

Ввиду того, что экспериментальная установка предназначена для совершенствования технологических процессов подготовки питьевой воды на Волжском водозаборе г. Казани, проведение на ней исследований подразумевает полное подобие экспериментальной установки существующим очистным сооружениям.

Полное подобие физической модели реальному объекту достигается при выполнении условий геометрического, кинематического и динамического подобия [3].

Геометрическое подобие гидравлических систем означает подобие всех поверхностей, ограничивающих и направляющих поток, т.е. соотношение основных линейных размеров этих систем остается неизменным. Математически условие геометрического подобия может быть представлено в виде [3, 4]:

$$a_i = e_n/e_m = const, \quad (1)$$

где  $a_i$  – масштаб моделирования;

$e_n$  – линейный размер реального объекта, мм;

$e_m$  – линейный размер модели, мм.

Кинематическое подобие гидравлических систем в общем виде означает, что безразмерные поля скоростей в рассматриваемых потоках должны быть одинаковы, т.е. отношения скоростей всех соответствующих частиц жидкости, участвующих в движении, должны быть равны между собой, а траектории движения в сравниваемых системах геометрически подобны. Математически условие кинематического подобия имеет вид [3]:

$$V_n/V_m = const, \quad (2)$$

где  $V_n$  – скорость движения жидкости в соответствующей точке реального объекта, м/с;

$V_m$  – скорость движения жидкости в модели, м/с.

Динамическое подобие, кроме соблюдения условий геометрического и кинематического подобия, означает пропорциональность сил, действующих в соответствующих точках потока [2]. При отнесении к этим силам давления, вязкости, сил тяжести и инерции динамическое подобие обуславливается равенством критериальных сил Эйлера ( $Eu$ ), Рейнольдса ( $Re$ ), Фруда ( $Fr$ ) и Струхаля ( $St$ ). Математически условие динамического подобия имеет вид [3, 4].

$$\left. \begin{aligned} Eu &= const; \\ Re &= const; \\ Fr &= const; \\ St &= const. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

При моделировании гидравлических систем на практике число критериев, определяющих динамическое подобие, как правило, меньше четырех. Так, например, одновременное моделирование по критериям Рейнольдса и Фруда невозможно. Поэтому для гидравлических систем, в которых движение жидкости осуществляется в безнапорном режиме, наиболее важным является соблюдение критерия подобия Фруда [3].

При моделировании процессов работы отстойников различных типов часто применяется принцип Сурина [5]. Как показали многочисленные экспериментальные исследования для достижения в первом приближении подобия отстойников достаточно, чтобы соблюдалось геометрическое подобие модели и реального объекта, а также в модели использовалась та же вода, что и в реальном отстойнике. Принцип Сурина позволяет обойти невозможность на практике одновременно соблюсти условие геометрического подобия и добиться равенства чисел Рейнольдса в натурном и модельном сооружениях.

Анализ априорной информации показывает, что оптимальная производительность экспериментальной установки подготовки питьевой воды равна 2 л/с. Увеличение производительности установки ведет к увеличению габаритных размеров аппаратов, в нее входящих. Снижение производительности установки приводит к такому уменьшению габаритов аппаратов подготовки воды, при котором на гидродинамике будет значительно сказываться пристеночный эффект, что, в свою очередь, может исказить результаты экспериментальных исследований.

Для смешения исходной речной воды с хлорной водой рассчитан и запроектирован струйный насос (эжектор) (рис. 2).

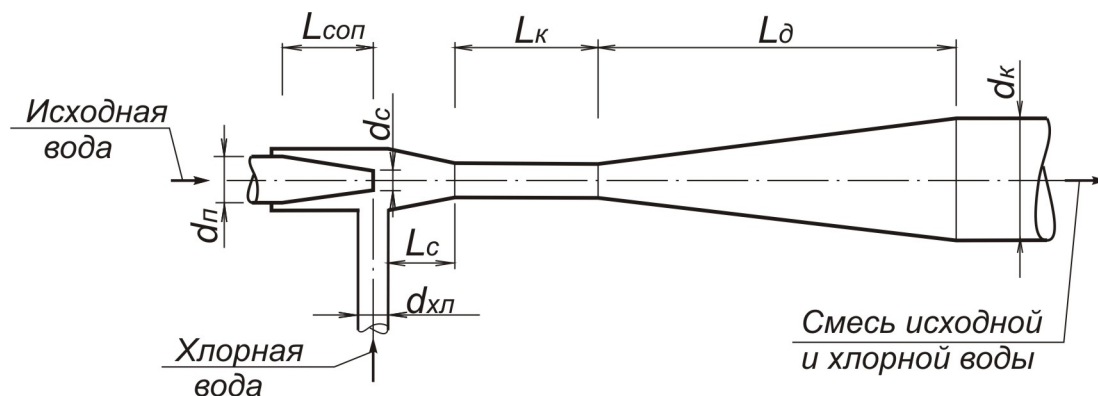


Рис. 2. Расчетная схема струйного насоса

Основные конструктивные размеры эжектора при производительности по исходной воде 2 л/с составляют: диаметр трубопровода исходной воды –  $d_{п} = 50$  мм; диаметр трубопровода хлорной воды –  $d_{хл} = 10$  мм; диаметр сопла струйного элемента –  $d_{с} = 12$  мм; диаметр камеры смешения –  $d_{к} = 15$  мм; длина сопла –  $L_{соп} = 19$  мм; длина камеры смешения –  $L_{к} = 90$  мм; длина диффузора –  $L_{д} = 390$  мм; расстояние между соплом и камерой смешения –  $L_{с} = 390$  мм.

Контактная камера рассчитана на пятиминутное пребывание смеси исходной и хлорной воды. В качестве контактной камеры принят вертикальный стальной резервуар с размерами в плане 500×400 мм высотой 3 м. Для обеспечения требуемого времени контакта воды с хлором движение воды в камере организуется по лабиринтной схеме, для чего она оборудуется перегородками, при этом конструкцией предусмотрена возможность регулирования жидкости в течение 2, 3, 4 и 5 минут.

Для смешения речной воды с растворами реагентов запроектирован вертикальный смеситель объемом 0,12 м<sup>3</sup>, рассчитанный на пребывание воды в течение одной минуты. Верхняя часть смесителя призматическая, квадратная в плане с длиной стороны 225 мм, а нижняя часть сооружения – пирамидальная. Общая высота смесителя с учетом высоты бортов составляет 3,0 м.

Для осветления воды в составе экспериментальной установки запроектирована модель горизонтального отстойника со встроенной камерой хлопьеобразования, с рассосредоточенным сбором осветленной воды и гидравлическим удалением осадка (рис. 3).

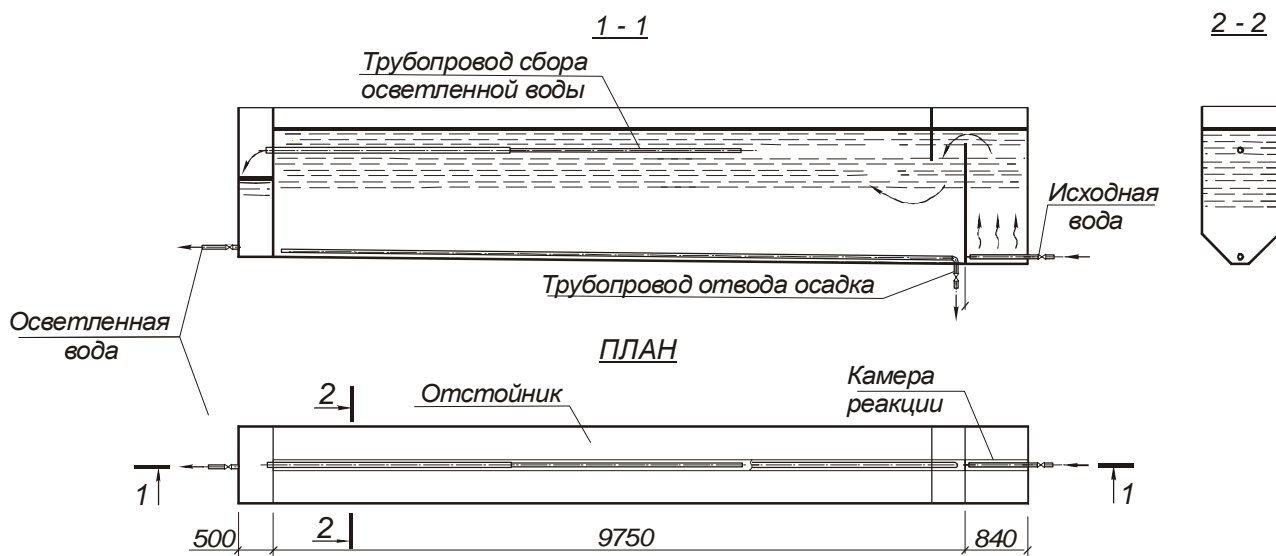


Рис. 3. Схема горизонтального отстойника с камерой хлопьеобразования

Из условий динамического подобия (равенства соответствующих критериальных чисел) масштаб моделирования –  $a$  при проектировании горизонтальных отстойников определен по формуле [3]:

$$a = [Q / (N_{омс} \cdot Q_p)]^{0,4}, \tag{4}$$

где  $Q$  – производительность моделируемых сооружений;

$N_{омс}$  – число моделируемых сооружений;

$Q_p$  – расчетная производительность модельной установки.

При производительности  $V$  очереди водоочистной станции Волжского водозабора 1447 л/с, десяти секциях отстойников и производительности модельной установки 2 л/с.

$$a = [1447 / (10 \cdot 2)]^{0,4} = 5,54$$

Габаритные размеры модели горизонтального отстойника в плане, при масштабе моделирования 5,54 и размерах натурного сооружения 54×6 м, составляют:

- длина модели отстойника, м – 9,75;
- ширина модели отстойника, м – 1,08;
- рабочая глубина модели отстойника, м – 1,78.

Дно отстойника имеет продольный уклон к началу сооружения в размере 0,01. С учетом этого общая высота модели отстойника в начале сооружения составляет 2,3 м, в конце сооружения – 2,2 м.

В начале сооружения располагается полупогруженная перегородка на расстоянии 0,5 м.

Сбор осветленной воды в отстойнике осуществляется телескопической дырчатой трубой длиной на 2/3 длины сооружения.

Система удаления осадка из отстойника принята аналогично системе удаления осадка существующих отстойников V очереди очистной станции Волжского водозабора. Удаление осадка производится под гидростатическим давлением перфорированным трубопроводом без выключения отстойника из работы. Трубопровод располагается у дна сооружения по всей его длине с выпуском осадка в начале отстойника.

Перед отстойником устраивается встроенная камера хлопьеобразования со слоем взвешенного осадка, которая по конструкции аналогична камерам хлопьеобразования отстойников Волжского водозабора.

Длина камеры хлопьеобразования при ширине, равной ширине отстойника, равна 0,84 м. Высота камеры хлопьеобразования принята равной отстойника, т.е. 2,3 м. Подача воды в камеру хлопьеобразования предусмотрена по перфорированному трубопроводу диаметром 70 мм.

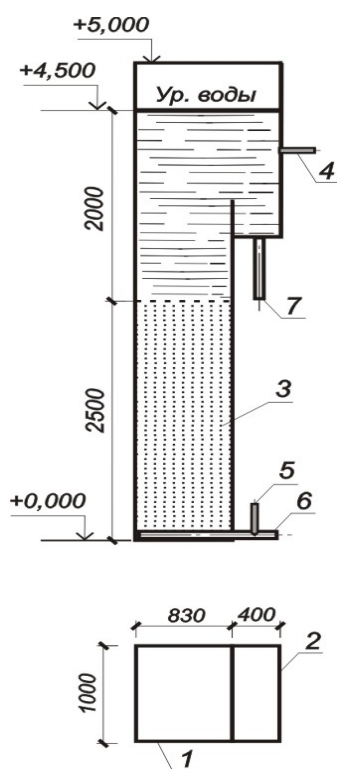


Рис. 4. Схема скорого фильтра

Для окончательной очистки воды в составе экспериментальной установки запроектирована конструкция модели скорого фильтра (рис. 4), которая аналогична конструкции скорых фильтров водопроводных очистных сооружений Волжского водозабора г. Казани и состоит из собственно фильтра 1 и бокового кармана 2.

Модель фильтра прямоугольная в плане размерами 1000×830 мм, общей высотой 5 метров.

Подача исходной воды в модель фильтра 4 и отвод отработанной промывочной воды 7 производится через боковой карман шириной 400 мм, расположенный по ее длинной стороне.

Дренажно-распределительная система скорого фильтра щелевая, в составе 32 дренажных колпачков, аналогичных используемым в натуральных сооружениях.

Растворные и расходные баки по приготовлению коагулянта и флокулянта рассчитаны и запроектированы на непрерывную суточную работу экспериментальной установки. В качестве растворного бака флокулянта предусмотрено использование стандартного аппарата с эллиптическим днищем объемом 0,063 м<sup>3</sup>, оборудованного механической лопастной мешалкой.

В качестве рекомендации по использованию данной экспериментальной установки очистки природной воды предлагается проведение исследований не только эффективности применения различных видов коагулянтов и флокулянтов, но и различных технологических схем и комбинаций применяемых реагентов, а также усовершенствования конструкций отдельных сооружений очистки и технологии очистки воды.

По качественным показателям, в отдельные периоды года, исходная вода характеризуется повышенной перманганатной окисляемостью и цветностью, а также периодически отмечается наличие фенольных соединений.

Исходя из этого, на экспериментальной установке предусмотрена возможность проведения исследований по эффективности различных видов технологии первичного хлорирования, а именно влиянию дозы первичного хлора и времени ее контакта на эффективность работы последующих сооружений очистки. Данная методика проверки эффективности первичного хлорирования заложена в конструкции контактного резервуара, который рассчитан на пятиминутное пребывание обрабатываемой воды и позволяет отводить воду, обработанную хлором через две, три, четыре и пять минут. Эти исследования необходимы в связи с тем, что в настоящее время существуют определенные затруднения, связанные с эффективностью коагуляции, что вызывает нарекания на неудовлетворительную работу горизонтальных отстойников и последующую повышенную нагрузку

по содержанию взвешенных веществ в воде, поступающей на окончательную очистку на скорые фильтры, что может быть связано с недостаточностью времени контакта первичного хлора с исходной водой. Изменяя дозу хлора и время его контакта с водой, возможно проведение исследований по определению влияния этих факторов на процесс последующей очистки.

Кроме этого, при появлении в исходной воде соединений фенола на установке возможно проведение исследований по первичному хлорированию с преаммонизацией, что также возможно с применением данной конструкции контактной камеры экспериментальной установки.

Для повышения эффективности работы горизонтального отстойника и увеличения его производительности возможно проведение исследований по технологии тонкослойного отстаивания. Для этого модель горизонтального отстойника можно оборудовать тонкослойными блоками различной конструкции и определить эффективность их применения.

Для анализа эффективности работы скорых фильтров можно рекомендовать проведение исследований с использованием различных видов фильтрующих материалов, различного гранулометрического состава и при разных технологических параметрах работы сооружения. Конструкция модели скорого фильтра позволяет проведение исследований по очистке воды фильтрованием с использованием двухслойной загрузки, состоящей из различных сочетаний фильтрующих загрузок, в частности, кварцевого песка и активированного угля. Эта схема очистки воды может быть использована для улучшения качества очищенной воды и выявления барьерной роли фильтров, связанных с ухудшением качества исходной воды при неблагоприятных и чрезвычайных ситуациях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адельшин А.Б., Селюгин А.С., Адельшин А.А., Хисамеева Л.Р. Некоторые аспекты состояния систем водоснабжения и водоотведения в Республике Татарстан и пути их совершенствования / «Инвестиционные подходы к естественнонаучным исследованиям и образованию»: Материалы Всероссийской науч.-практ. конф. (Казань, 12-13 марта 2009 г.). – Казань: ТГГПУ, 2009. – С. 182-193.
2. СНиП 2.04.02-84\*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Введ.01.01.85. – М.: ФГУП ЦПП Госстроя России, 2004. – 128 с.
3. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
4. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод: Учебное пособие / В.И. Калицун и [др.]. – М.: Стройиздат, 2000. – 272 с.
5. Байков Н.М., Позднышев Г.Н., Мансуров Р.И. Сбор и промысловая подготовка нефти, газа и воды. – М.: Недра, 1981. – 262 с.