

УДК 628.16.0

al-3x@mail.ru

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОДОПОДГОТОВКИ НА УСТАНОВКЕ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НУЖД НАСЕЛЕНИЯ ВОДОЙ
ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА**

**INTENSIFICATION OF THE WATER TREATMENT PROCESS
AT THE UNIT TO PROVIDE THE NEEDS OF THE POPULATION WITH WATER
IN EMERGENCY SITUATIONS OF A NATURAL CHARACTER**

*Ширниех А. А., Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана, Москва*

*Shirniekh A., Bauman Moscow State
Technical University, Moscow*

Обеспечение населения водой при чрезвычайных ситуациях природного характера может стать одним из главных вопросов спасения жизни людей. С каждым годом частота и масштаб природных стихийных бедствий увеличивается. Для решения этого вопроса автором разработана мобильная установка очистки воды, которая способна очистить воду до питьевого качества. Она включает в себя самые передовые подходы в обработке воды. Проведен ряд опытов, направленных на выявление способов интенсификации процесса водоподготовки. С помощью компьютерного моделирования усовершенствованы некоторые конструкции. Установка размещается в прицепе и свободно может перемещаться по зоне бедствия. Чтобы не вызвать у пострадавших панику и давку в очереди за водой, таких установок может быть развернуто несколько штук в разных локациях временного размещения людей. Установка полностью автономна, а в качестве источника воды может выступать ближайших источник любого качества.

Ключевые слова: водоподготовка, коагуляция, контактная камера, питьевая вода, механический фильтр, мобильная установка.

Providing the population with water in natural emergencies can become one of the main issues in saving lives. The frequency of natural disasters increases every year. To solve this issue, the author has developed a mobile water purification unit, which is capable of purifying water to drinking quality. It includes the most advanced water treatment approaches. A number of experiments have been carried out aimed at identifying ways to intensify the process of water treatment. Some designs have been improved with the help of computer simulation. The unit is housed in a trailer and can move freely in the disaster area. In order not to cause panic and crush on the victims in the queue for water, several such installations can be deployed in different locations for temporary accommodation of people. The installation is completely autonomous, and the nearest source of any quality can act as a source of water.

Keywords: water treatment, coagulation, contact chamber, drinking water, mechanical filter, mobile unit.

Введение

Чрезвычайные ситуации в населенных пунктах бывают самого разного характера. В России ежегодно происходит более 20 кризисных наводнений. По данным Росгидромета, этим стихийным бедствиям подвержены около 500 тыс. км². Согласно [1] в 2017 г. произошло 42, а в 2018 г. 44 природных чрезвычайных ситуаций. Так, например, в 2010 г. в Краснодарском крае были подтоплены 30 населенных пунктов, погибли 17 человек, пострадали 7,5 тысяч человек. В 2012 г. сильнейшие ливни привели к самому разрушительному наводнению Краснодарского края, пострадали 10 населенных пунктов, погибли 168 человек. При любой чрезвычайной ситуа-

ции недостаток чистой питьевой воды может стать главной проблемой выживания для людей.

Разработка установки

Для решения этой проблемы предлагается разработать мобильную установку для очистки воды, которую, в случае необходимости, можно будет легко доставить и развернуть в зоне бедствия. На основе анализа более 80 источников научной литературы, в том числе различных патентов зарубежных и отечественных авторов, а также по результатам существующих моделей подобных установок, всех их достоинств и недостатков, предложена следующая принципиальная схема (рис. 1).

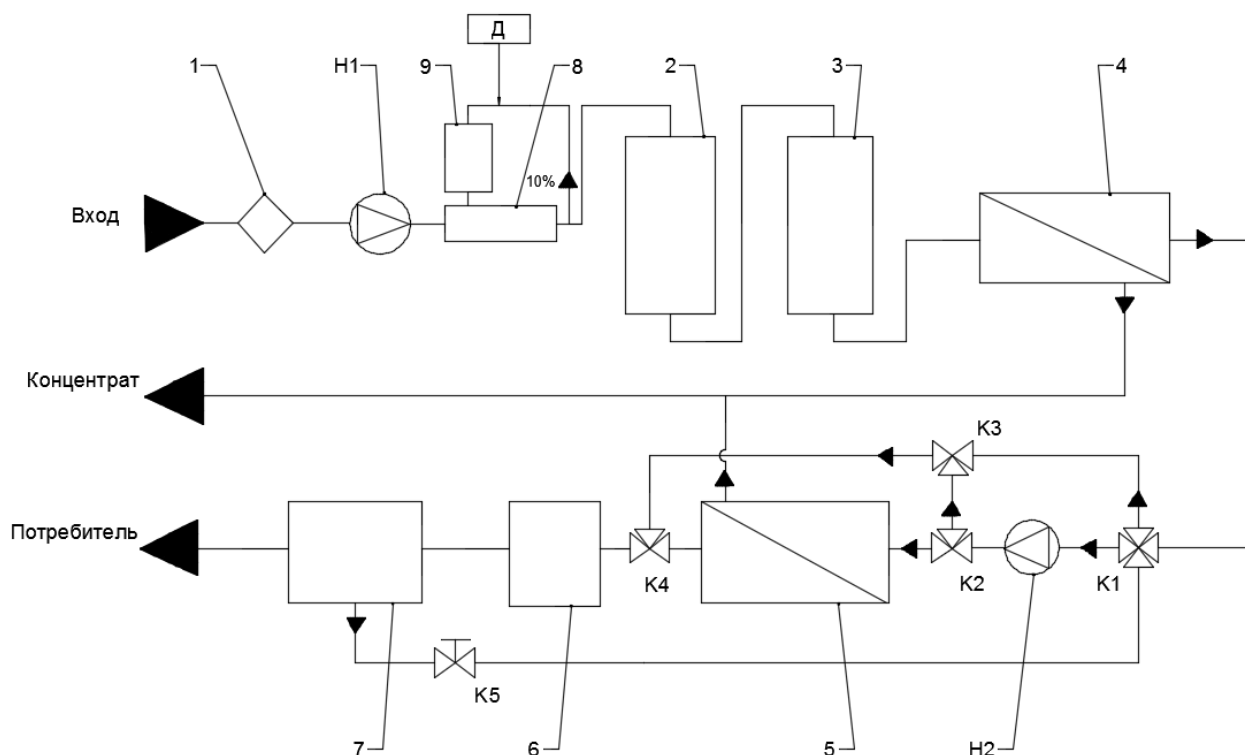


Рисунок 1. Принципиальная схема установки:

- 1 – предфильтр; 2 – механический фильтр; 3 – угольный фильтр;
 4 – ультрафильтрационная мембрана; 5 – обратноосмотическая мембрана;
 6 – ультрафиолетовый стерилизатор; 7 – резервуар чистой воды; 8 – камера смешения;
 9 – контактная камера; Н1 – насос для подачи исходной воды;
 Н2 – насос для обратноосмотической мембраны; Д – дозатор коагулянта

Однако изначально принципиальная схема выглядела несколько иначе, в

ней отсутствовала камера смешения, контактная камера и дозатор коагулянта. Конечный вариант был сформирован после

проведения ряда опытов по изучению способов интенсификации водоподготовки на фильтрах. В качестве критерия, определяющего эффективность предлагаемых способов интенсификации процесса, был выбран такой органолептический параметр качества воды, как мутность. Согласно [2] значение этого норматива должно быть не более 2,6 единиц мутности по формазину

для питьевой воды. На текущем этапе будет рассматриваться только блок фильтров и способы повышения его эффективности, которые уже учтены в предлагаемой схеме.

Все опыты были проведены на учебном лабораторном стенде «Очистка сточных вод», который представлен на рис. 2. Для проведения опытов использовалась лишь часть стенда с фильтрами.



Рисунок 2. Учебный лабораторный стенд «Очистка сточных вод»

Опыт 1. Проверка производительности установки. Для данного опыта были использованы следующие подручные средства: секундомер, емкость объемом 2

литра. Опыт проходил следующим образом: запускался стенд на чистой воде и засекалось время заполнения емкости объемом в 2 литра. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1
Результаты опыта № 1 производительности установки

№ опыта	Время заполнения, с	Производительность, л/ч
1	34	211,8
2	39	188,6
3	35	205,7
4	36	200

После обработки эксперимента получили доверительный интервал для значения производительности (201.5-9.66;201.5+9.66)

Опыт 2. Эффективность фильтров. Опыт проводился с использованием двух

колонок с фильтрующим материалом, а также дополнительного резервуара чистой воды и заранее подготовленной модельной водой (рис. 3).



Рисунок 3. Резервуар с модельной водой

Проводилась процедура нефелометрии на исходной модельной воде и на воде из резервуара чистой воды (табл. 2).

Таблица 2
Результаты опыта № 2. Нефелометрические измерения

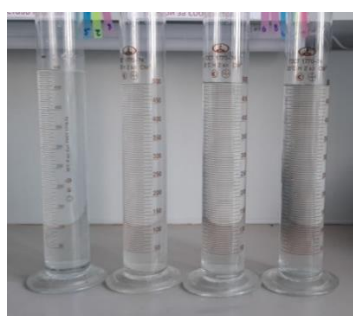
№ опыта	NTU до фильтрования	NTU после фильтрования	Эффективность, %
1	32,2	10,9	66,1
2	30,3	11	63,7
3	33,5	11,3	66,3

После обработки эксперимента получили доверительный интервал NTU до фильтрования (32-1.82;32+1.82), а для NTU после фильтрования (11.07-0.2;11.07+0.2).

Как мы можем заметить, использование только блока фильтров позволяет достичь эффективности порядка 65,4 %, что достаточно хороший результат, однако недостаточный. Для повышения эффективности попробуем использовать коагулянт, но

для начала подберем оптимальную концентрацию.

Опыт 3. Подбор оптимальной концентрации коагулянта. В качестве коагулянта был выбран «Аква-Аурат» ($Al_2(OH)_nCl_{6-n}$). Для проведения опытов было использовано четыре цилиндра на 0,5 л. Далее была подготовлена модельная вода путем добавления размолотого угля АГ-3 (рис. 4).



а



б

Рисунок 4. Мензурки с исходной и модельной водой:
а – исходная вода; б – модельная вода

Был подготовлен 5%-й раствор «Аква-Аурата» и в каждую из мензурок с помощью стеклянной пипетки был добавлен соответствующий объем раствора

(слева направо: 1 мл, 2 мл, 3 мл, 4 мл). Качественные результаты представлены на рис. 5.

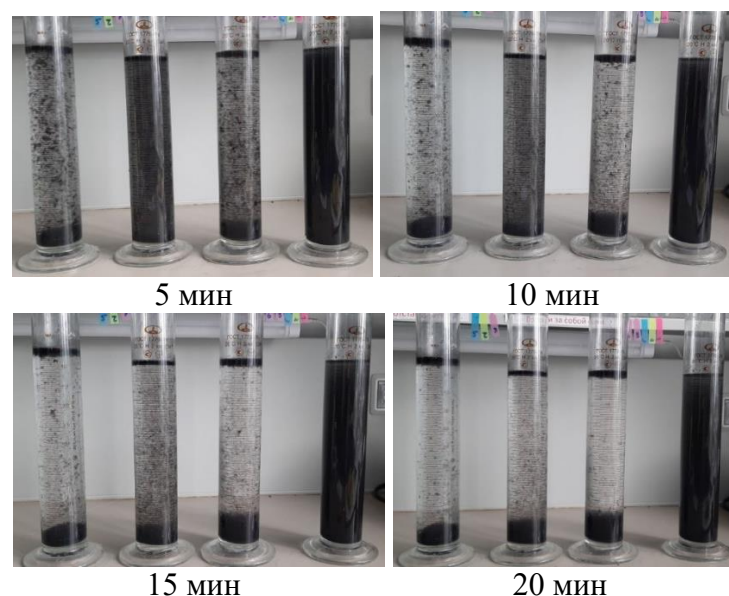


Рисунок 5. Добавление коагулянта в модельную воду

Как мы можем увидеть, наибольшую эффективность показывает минимальная концентрация коагулянта в 1 мл 5%-го раствора «Аква-Аурат».

Опыт 4. Использование коагулянта в скорых фильтрах. Для этого опыта в подготовленную модельную воду объемом 12

литров было добавлено 24 мл 5%-го раствора «Аква-Аурата». Также была проведена процедура нефелометрии на модельной воде и из резервуара чистой воды. Полученные результаты можно увидеть в табл. 3.

Таблица 3
Результаты опыта № 4. Нефелометрические измерения

№ опыта	NTU до фильтрования	NTU после фильтрования	Эффективность, %
1	57	6,6	88,4
2	55,9	6,1	89,1
3	56,4	6,0	89,3

После обработки эксперимента получили доверительный интервал NTU до фильтрования (56.4-0.6;56.4+0.6), а для NTU после фильтрования (6.23-0.36;6.23+0.36).

Промежуточный итог проведения исследования. Использование коагулянтов является достаточно оправданным способом интенсификации водоподготовки, что можно заметить из сводной табл. 4.

Таблица 4
Сводная таблица № 1

	Фильтрование без коагулянта	Фильтрование с коагулянтом
NTU	11,07±0,2	6,23±0,36
Эффективность, %	65,4	88,9

Увеличение эффективности на 23,5 % значительно снизит нагрузку на следующие ступени водоподготовки, снизит эксплуатационные затраты и повысит качество воды для потребителя.

Однако эффективность перемешивания воды с реагентом можно еще увеличить за счет многократной рециркуляции потока в камере смешивания через зоны ввода новых порций реагента. Процесс коагуляционного структурообразования

ускоряется в присутствии дополнительных поверхностей раздела фаз [3, 4], в качестве которого может выступать дробленый керамзит, щебень или гравий. Подобный процесс носит название контактной коагуляции.

С. М. Салмин в своей работе [5] провел ряд экспериментов и пришел к выводу, что наилучшей схемой введения коагулянта является следующая (рис. 6).

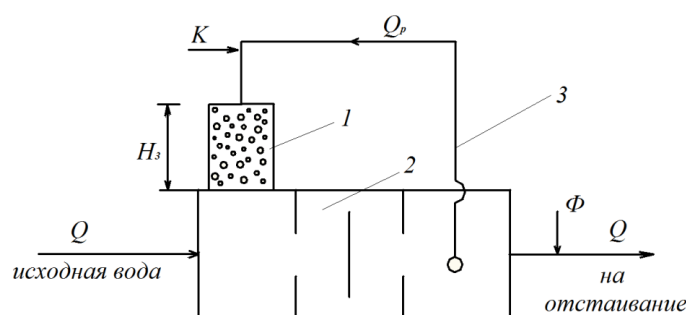


Рисунок 6. Схема моделирования реагентной обработки:

1 – контактная камера; 2 – гидравлический смеситель; 3 – контур рециркуляции;
 K и Φ – дозирование коагулянта и флокулянта; H_z – высота загрузки

Вводить необходимый объем коагулянта нужно в рециркуляционный контур, который составляет 7–10 % объема от общей производительности установки.

Однако в работе рассматривали в качестве загрузки только щебень и гравий. Автором посредством компьютерного моделирования, была разработана искус-

ственно созданная камера хлопьеобразования (рис. 7), которая будет иметь ряд своих преимуществ, например, меньший вес, отсутствие необходимости в замене загрузки и повышенная эффективность. Для моделирования использовалась программная система конечно-элементного анализа ANSYS.

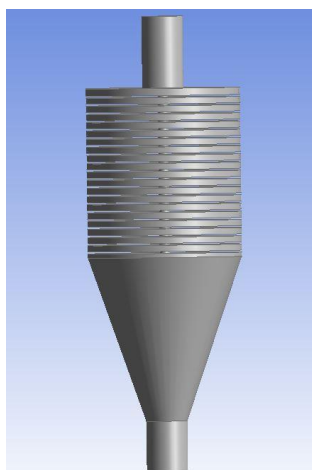


Рисунок 7. Проточная часть камеры хлопьеобразования

Предложенная модель имеет название «гармошка», т. к. движение потока воды напоминает изгибы гармошки. Вода движется от центра к периферии и обратно, при этом обладает максимальной площадью контакта с поверхностью. В нижней части имеется конфузур, назначение которого в том, чтобы сформированные хлопья в камере при переходе в патрубок не были разрушены, т. к. было замечено, что при резком переходе из камеры в патрубок образуются сильные турбулентные потоки.

Повышение эффективности осветления с использованием предлагаемой схемы (рис. 6), согласно [5], может быть определено по формуле (1). Для оценки эффективности применения контактной камеры хлопьеобразования для рассматриваемой модели примем эту формулу, но с учетом использования загрузки в виде щебня. Для оценки точной эффективности предлагаемой модели необходимо провести ряд дополнительных опытов.

$$\Delta \varepsilon = 1,12 * G^{0,17} * (t - 8,6)^{0,28} * \left(\frac{0,01}{d_3}\right)^{0,1} * \left(\frac{Q_p}{Q}\right)^{0,3} = 1,12 * 400^{0,17} * (12,8 - 8,6)^{0,28} * \left(\frac{0,01}{0,01}\right)^{0,1} * \left(\frac{0,0000056}{0,000056}\right)^{0,3} = 5,94 \%, \quad (1)$$

где G – градиент скорости при перемешивании рециркуляционного потока в контактной загрузке, 400 с^{-1} , согласно таблице 4.1 [5]; t – время взаимодействия воды с загрузкой, $12,8 \text{ с}$; d_3 – средний диаметр зерен однородной крупнозернистой загрузки, $0,01 \text{ м}$ (в качестве аналога); Q – производительность установки,

$0,000056 \text{ м}^3/\text{с}$; Q_p – расход воды на циркуляционный контур, принимаемый $0,1Q$.

Получается, что фильтрование через скорые фильтры с использованием коагулянта с перемешиванием в свободном объеме гидравлического смесителя способно достичь эффективности очистки воды более чем в 90% . Значения эффективности представлены в табл. 5.

Таблица 5
Сводная таблица № 2

	Исходное значение	Фильтрование на скорых фильтрах	Фильтрование на скорых фильтрах с коагулянтом	Фильтрование с коагулянтом на контактной камере
NTU	57	19,7	6,23	2,94
Эффективность, %	–	65,4	88,9	94,84

На основе проделанной работы предлагается следующая модель установки (рис. 8), размещенной в прицепе, верхняя часть которой обтягивается тентом.

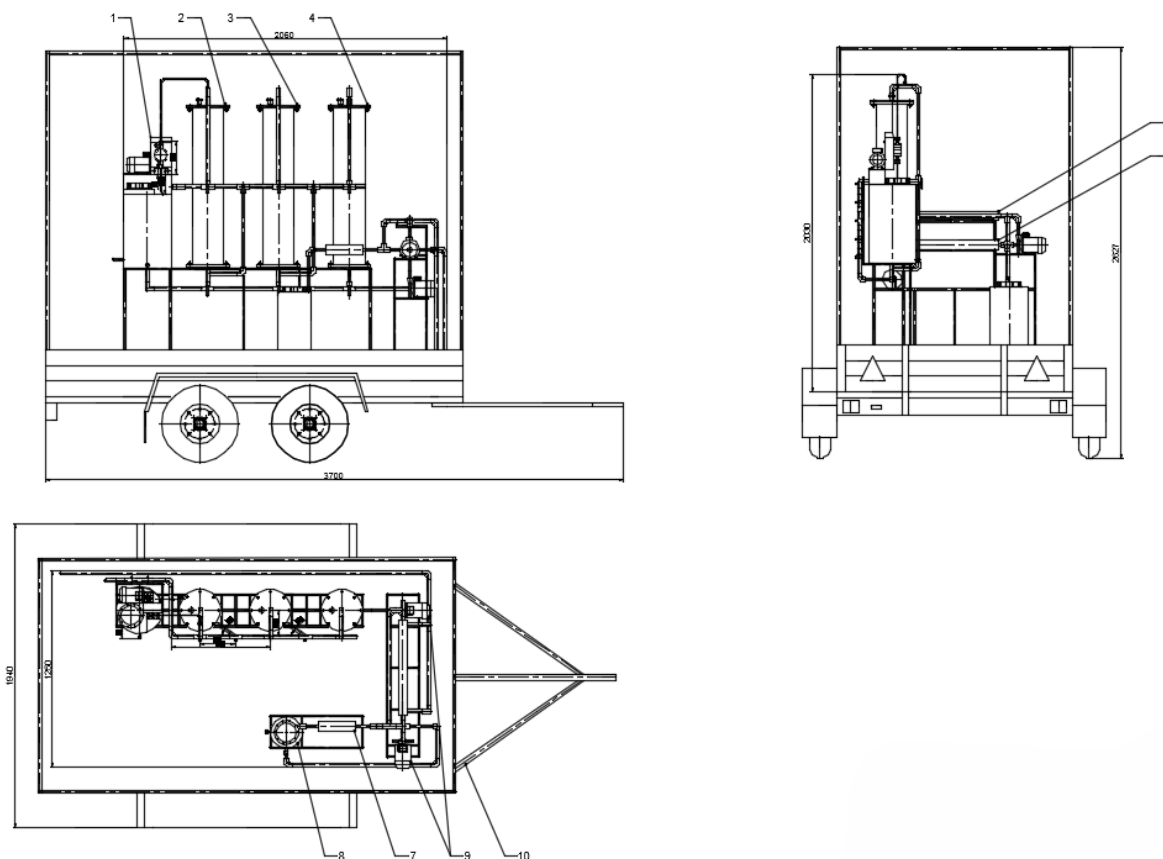


Рисунок 8. Модель мобильной установки по очистке воды

1 – блок коагуляции; 2 – контактная камера; 3 – механический фильтр; 4 – угольный фильтр; 5 – ультрафильтрационная мембрана; 6 – обратноосмотическая мембрана; 7 – ультрафиолетовый стерилизатор; 8 – резервуар чистой воды; 9 – насос; 10 – прицеп

Заключение

Интенсифицируя процесс фильтрации на фильтрах, возможно увеличить эффективность их работы ориентировочно на 30 % и практически достичь нормативных значений питьевой воды уже на фильтрах. Полученный результат позволяет

уверенно сказать, что предлагаемая установка с поставленной задачей справится. Разработанная модель, размещенная в прицепе, будет мобильной и позволит перемещать установку по зоне бедствия в зависимости от текущих нужд.

Литература

1. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2018 г.». М., 2019. 344 с.
2. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
3. Пат. 182602. Российская Федерация. Способ реагентной обработки воды с применением рециркуляции / Е. Ф. Кургаев и др. // Бюллетень. 1996. № 11.
4. Аэров М. Э., Годес О. М., Наринский Д. А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. Л., 1979. 176 с.
5. Салмин С. М. Коагуляция примесей природных вод с использованием крупнозернистой контактной загрузки: дисс. ... канд. техн. наук. Пенза, 2015.

References

1. Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennoho haraktera v 2018 g.». M., 2019. 344 p.
2. Postanovlenie Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF ot 28.01.2021 № 2 «Ob utverzhenii sanitarnyh pravil i norm SanPiN 1.2.3685–21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov srede obitaniya».
3. Pat. 182602. Rossijskaya Federaciya. Sposob reagentnoj obrabotki vody s primeneniem recirkulyacii / E. F. Kurgaev et al. // Byulleten'. 1996. № 11.
4. Aerov M. E., Todes O. M., Narinskij D. A. Apparaty so stacionarnym zernistym sloem. L., 1979. 176 p.
5. Salmin S. M. Koagulyaciya primesej prirodnyh vod s ispol'zovaniem krupnozernistoj kontaktnoj zagruzki. Penza, 2015.