

Оригинальная статья

УДК 502/504:627.5:556.18: 628.16

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-93-101

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ СИРИИ

МИХЕЕВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ^{1✉}, д-р техн. наук, профессор

mikheev.pa@gmail.com

САББУХ ХУССАМ ШАФИК^{2✉}, канд. техн. наук, доцент

hossamsab1959@gmail.com

ИСМАИЛ ХУССЕЙН АБД АЛКАРИМ¹, аспирант

husseinismaeil93@gmail.com

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Б. Академическая, 44, Россия

² Университет Тишрин, Лагаккия, 9-й проект – Университетский профессорский комплекс, Сирия

Цель исследований – оценка возможности совмещения процессов смешивания коагулянта и перемешивания (формирования флокулянта), разработка, проектирование и испытание установки, обеспечивающей совместимость процессов и использование сжатого воздуха в процессе перемешивания для достижения нормативных показателей качества питьевой воды при минимально возможных экономических затратах. Приведены результаты исследований по оценке возможностей достижения показателей качества питьевой воды поверхностных источников Сирийской Арабской Республики в условиях зарегулированного стока. В опытах использовалась вода из водохранилища 16 Тишрин, в качестве коагулянта – водный сульфат алюминия $[Al_2(SO_4)_{3,18}H_2O]$. Образцы воды для экспериментов хранились до достижения температуры, близкой к температуре окружающей среды. Предложены совмещение камеры хлопьеобразования и смесителя для установки очистки воды, а также способ использования сжатого воздуха в качестве перемешивающего фактора вместо механических смесителей. Перед началом эксперимента проводились измерения температуры и pH воды, расчет количества воздуха, необходимого для выполнения процессов смешивания и образования флокулянта. За счет совмещения смесителя и камеры хлопьеобразования установлена возможность повышения эффективности очистки воды и сокращения эксплуатационных затрат при использовании сжатого воздуха для перемешивания. Экспериментальные исследования совмещенного блока подготовки питьевой воды с использованием сжатого воздуха для перемешивания позволили определить оптимальные значения параметров процессов смешивания и перемешивания, используемых при водоподготовке, повысить эффективность перемешивания и качество очистки воды, уменьшить эксплуатационные затраты на очистку воды, оптимизировать вариант компоновки отдельных элементов системы водоподготовки.

Ключевые слова: река, поверхностный сток, питьевая вода, смешивание, камера хлопьеобразования, эффективность очистки воды, сжатый воздух

Формат цитирования: Михеев П.А., Саббух Х.Ш., Исмаил Х.А.А. О возможностях подготовки питьевой воды из поверхностных источников Сирии // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 93-101. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-93-101.

© Михеев П.А., Саббух Х.Ш., Исмаил Х. А.А., 2022

Original article

ABOUT POSSIBILITIES OF DRINKING WATER PREPARATION FROM SURFACE SOURCES OF THE SYRIA

MIKHEEV PAVEL ALEXANDROVICH^{1✉}, of Technical Sciences, Professor

mikheev.pa@gmail.com

SABBUKH HUSSAM SHAFEEK^{2✉}, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

hossamsab1959@gmail.com

ISMAEIL HUSSEIN ABD ALKAREEM¹, *postgraduate student*

husseinismaeil93@gmail.com

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127434, Moscow, B. Akademicheskaya str., 44, Russia

² Tishrin University, Latakia, 9th Project – University Professorial Complex, Syria

The purpose of the study is to assess the possibilities of combining the processes of mixing coagulant and agitating (formation of flocculant), developing, designing and testing the installation that ensures the compatibility of processes and the use of compressed air in the mixing process to achieve standard indicators of drinking water quality at the lowest possible economic costs. The article contains the results of research to assess the possibilities of achieving the quality indicators of drinking water from surface sources of the Syrian Arab Republic in conditions of regulated runoff. The experiments used water from reservoir 16 Tishrin, as a coagulant aqueous aluminum sulfate $[Al_2(SO_4)_{3 \cdot 18}H_2O]$, water samples for experiments were stored until a temperature close to ambient temperature was reached. A combination of a flocculation chamber and a mixer for a water purification plant is proposed, as well as a method for using compressed air as a mixing factor instead of mechanical mixers. Before the start of the experiment, measurements of the temperature and pH of the water were carried out, as well as the calculation of the amount of air required to perform the processes of mixing and the formation of a flocculant. Due to the combination of the mixer and the flocculation chamber, the possibility of increasing the efficiency of water purification and reducing operating costs when using compressed air for mixing has been established; it has also been possible to determine the optimal values of the parameters of mixing and mixing processes used in water treatment; to improve mixing efficiency and water purification quality; to reduce operating costs for water treatment; to optimize the layout of individual elements of the water treatment system.

Keyword: river, surface runoff, drinking water, mixing, flocculation chamber, water treatment efficiency, compressed air

Format of citation: *Mikheev P.A., Sabbukh H.Sh., Ismaeil H.A.A. About possibilities of drinking water preparation from surface sources of the Syria // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 1. – S. 93-101. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-93-101.*

Введение. Река Нахр аль-Кабир аль-Шимали (Северная Большая река) берет начало в горах провинции Латакия на северо-западе Сирии и впадает в Средиземное море. Плотины 16 Тишрин и созданное водохранилище на реке – это один из самых важных объектов в регионе для производства электроэнергии, накопления и использования местного стока в целях водоснабжения и орошения.

Известно, что вода является бесценным природным ресурсом. Очевидно также и то, что спрос, в том числе на питьевую воду, будет расти, а дефицит будет становиться все более ощутимым [1, 2]. В этой связи обеспечение населения чистой питьевой водой из поверхностных источников является одной из глобальных проблем человечества [3].

Сирийская Арабская Республика в настоящее время располагает достаточными ресурсами пресной воды, но ее поверхностные источники (реки, озера и водохранилища) характеризуются довольно высоким уровнем загрязнения. Часть населения не имеет доступа к централизованным источникам водоснабжения и потребляет воду без необходимой предварительной обработки, что приводит к распространению различных инфекций и появлению

связанных с ними патологий. Следует также отметить, что в ряде случаев отсутствие доступа к чистой воде и отсутствие канализационных систем приводят к массовым заболеваниям и распространению эпидемий, особенно в настоящее время – в контексте сирийского кризиса. В связи с этим существует острая необходимость разработки механизмов очистки природной воды для повышения качества питьевой воды при одновременном снижении экономических затрат до минимума [4, 5]. Развитие таких механизмов позволит восполнить нехватку питьевой воды в некоторых регионах Сирии, особенно в отдаленных сельских районах.

Подготовка питьевой воды – это процесс удаления нежелательных веществ из природной воды – таких, как химические и биологические загрязнители, взвешенные твердые вещества и газы. Исследования многих советских и российских ученых посвящены разработке систем очистки воды. Прежде всего это фундаментальные исследования Е.И. Апелъциной, И.Л. Крымского, В.З. Мельцера, Е.Ю. Рождественской, В.Л. Чейшвили и др.

В настоящее время практически во всем мире в системах водоподготовки применяется классический метод, который включает в себя

применение смесителей и камер хлопьеобразования механическим устройством для перемешивания коагулянта и формирования флокулянта.

В исследованиях был предложен вариант объединения камер хлопьеобразования и смесителя. Процесс перемешивания коагулянта с очищаемой водой предложено осуществлять с помощью подачи воздуха вместо механических смесителей [6].

Цель исследований: оценка возможности совмещения процессов смешивания коагулянта и перемешивания (формирования флокулянта), разработка, проектирование и испытание установки, обеспечивающей совместимость процессов и использование сжатого воздуха в процессе перемешивания для достижения нормативных показателей качества питьевой воды при минимально возможных экономических затратах.

Исследования проводились в два этапа: на первом этапе оценивались параметры процесса смешивания коагулянта, перемешивания и образования флокулянта для различных значений мутности воды; на втором этапе осуществлялось проектирование элементов предлагаемой установки по подготовке воды.

В статье представлены результаты первого этапа исследований.

Материалы и методы исследований.

Исследование проводилось в лаборатории инженерной экологии факультета гражданского строительства Университета Тишрин в Сирийской Арабской Республике. Для эксперимента использовалась вода из водохранилища 16 Тишрин близ села Мошкита.

Для расчета количества воздуха, необходимого для выполнения каждого из двух процессов смешивания и образования флокулянта (Q , м³/с), использовалось соотношение [7]:

$$Q = \frac{G^2 \cdot V \cdot \eta}{P_0 \cdot \ln \frac{P_0 + \rho \cdot g \cdot h}{P_0}}$$

где G – градиент интенсивности смешивания, выражающий интенсивность перемешивания (образование флокуляции); P_0 – значение атмосферного давления, составляющее (105 Па); ρ – плотность воды при температуре эксперимента (1000 кг/м³); g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²); h – расстояние от поверхности воды до линии распределения воздуха для перемешивания и образования флокулянта, м; V – объем очищенной воды, м³; η – динамическая вязкость воды при температуре в условиях эксперимента (Па·с).

Для реализации первого этапа было запроектовано и изготовлено устройство для проведения лабораторных экспериментов, которые выполнялись при следующих условиях: температура исходной воды $T = 16^\circ\text{C}$; водородный показатель сырой воды $pH = 7,2$. В качестве

химического коагулянта использовался водный сульфат алюминия $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$.

Коагулянт, принятый в эксперименте использован, в том числе, для нейтрализации влияния качества и дозы применяемого химического коагулянта на точность результатов [8]. При этом одновременно снижаются цветность, бактериальная загрязненность, а в отдельных случаях – запахи и привкусы воды.

Оптимальная доза химического коагулянта для различных уровней мутности определялась опытным путем с помощью экспериментального коагуляционного устройства (*Jar-Test*), а время и скорость осаждения частиц ила в воде ($V = 1,5$ ч; $u_0 = 0,3$ мм/с) определялись в лабораторных условиях.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема экспериментальной установки, которая включает в себя устройства для подачи воздуха и систему гибких воздухопроводов, калибровочный и испытательные стеклянные цилиндры, смонтированные на металлической основе.

Процесс подачи сжатого воздуха к калибровочному и испытательным цилиндрам осуществляется по двум гибким линиям: для смешивания коагулянта – линия; для перемешивания и образования флокулянта – линия.

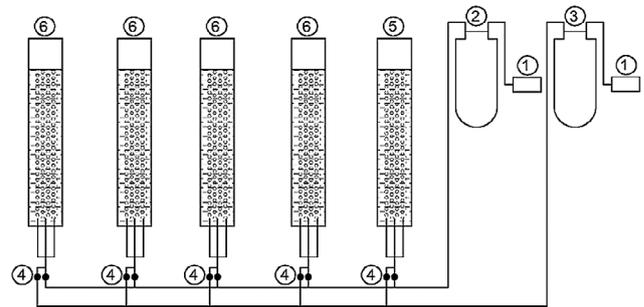


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки:

- 1 – компрессор для подачи воздуха;
- 2 и 3 – узлы измерения расхода и линии подачи воздуха для смешивания (2) и перемешивания – формирования флокулянта (3);
- 4 – клапаны для управления подачей воздуха;
- 5 – калибровочный цилиндр для измерения объема воздуха, необходимого для смешивания и образования флокулянта;
- 6 – испытательные цилиндры-смесители

Fig. 1. Schematic diagram of the laboratory installation:

- 1 – compressor for air supply;
- 2 and 3 – flow measurement units and air supply lines for mixing (2) and agitation (floculant formation) (3);
- 4 – valves for controlling the air supply;
- 5 – calibration cylinder for measuring the volume of air required for mixing and floculant formation;
- 6 – test cylinders-mixers

Методика эксперимента заключалась в выполнении ряда операций, а именно:

- Включается компрессор, соединенный с узлом; определяется расход воздуха, необходимый для смешивания. При этом клапан линии на калибровочном цилиндре открыт, а клапаны на цилиндрах закрыты.

- После установки режима расход воздуха, необходимого для смешивания, клапан калибровочного цилиндра закрывается, и открываются клапаны линии, соединенные с испытательными цилиндрами.

- Включается компрессор, соединенный с узлом. Определяется расход воздуха, необходимый для перемешивания и образования флокулянта. При этом клапан линии на калибровочном цилиндре открыт, а клапаны линии на цилиндрах закрыты.

- После завершения смешивания (1 мин времени) клапаны на линии, соединенные с цилиндрами, и клапан линии, соединенный с калибровочным цилиндром, закрываются, а клапаны линии, соединенные с цилиндрами, открываются.

- Во время перемешивания в испытательных цилиндрах, определяемого условиями опыта, клапан линии, соединенный с калибровоч-

ным цилиндром, открывается для калибровки расхода следующей группы опытов.

В ходе экспериментов использовались следующие измерительные приборы и оборудование: для оценки мутности – мутномер; для измерения давления воздуха – манометр, водородного показателя – рН-метр, объема воды в цилиндрах – мерный сосуд, времени – секундомер.

Результаты и обсуждение. Эффективность процессов фильтрации и стерилизации воды связана с физико-химическими характеристиками обрабатываемой воды (мутность, цвет, температура, рН, ионный состав и др.), а также дозой добавляемого химического коагулянта и конструктивными параметрами различных процессов, протекающих в последовательных очистных сооружениях, которые считаются основными факторами успеха процесса очистки воды.

Чтобы нейтрализовать влияние качества и дозы используемого химического коагулянта, которым является водный сульфат алюминия $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$, доза была определена опытным путем с использованием устройства коагуляции (Jar-Test) в инженерной лаборатории [9]. В соответствии с величиной мутности в исследуемых пробах воды в таблице 1 приведены оптимальные значения дозы коагулянта.

Таблица 1

Значения оптимальных доз химиката в зависимости от мутности сырой воды (Jar-Test)

Table 1

Values of optimal doses of the chemical depending on the turbidity of raw water (Jar-Test)

Мутность сырой воды, мг/л <i>Turbidity of raw water, mg/l</i>	20	45	70	95	120
Оптимальное значение дозы коагулянта, мг/л <i>Optimal dose of the coagulant, mg/l</i>	10	10	12	15	15

Для каждого исследуемого уровня мутности (20, 45, 70, 90, 120 мг/л) экспериментальные значения параметров определялись с использованием переменных значений для одного параметра при фиксации значений трех других параметров. В связи с этим в результате исследований были определены экспериментальные значения непрерывности процесса смешивания (T_1) при различных уровнях мутности (табл. 2).

Значение рН было измерено во всех образцах, взятых из очищенной воды, и установлено, что между ними не было никаких различий, поэтому значение рН в испытаниях принято на постоянном уровне [10].

После определения экспериментальных значений времени процесса смешивания (T_1)

при различных степенях мутности воды, измеренных значений мутности после процесса очистки (M) строился график зависимости между экспериментальными значениями времени смешивания (T_1) и остаточной мутностью воды после обработки в процессе очистки, определено оптимальное значение параметра (T_1), как следует из рисунка 2.

Известно, что интенсивность смешивания является основной характеристикой в процессе флокуляции, имеющей большое значение при определении оптимальной продолжительности смешивания в соответствии с размерами конструкции установки, а также при изменении скорости перекачивания воды или сжатого воздуха для обеспечения требуемой интенсивности смешивания [11-13].

**Экспериментальные значения времени смешивания (T_1)
при различных показателях мутности воды**

Table 2

Experimental values of mixing time (T_1) at different indicators of water turbidity

Экспериментальные значения времени процесса смешивания (T_1), с <i>Experimental values of mixing time (T_1), s</i>	Остаточная мутность воды после обработки (M), при фиксированном значении (G_1, T_2, G_2) для каждого показателя мутности сырой воды (M_0), мг/л <i>Residual turbidity of water after treatment (M), at the fixed value (G_1, T_2, G_2) for each indicator of turbidity of raw water (M_0), mg/l</i>				
	$M_0 = 20$	$M_0 = 45$	$M_0 = 70$	$M_0 = 95$	$M_0 = 120$
30	15,8	15,9	15,0	13,0	16,0
60	12,5	12,9	11,8	9,5	13,0
90	10,5	10,8	10,2	8,7	11,4
120	10,0	10,5	9,3	8,3	10,8
150	10,0	10,5	9,1	8,0	10,5

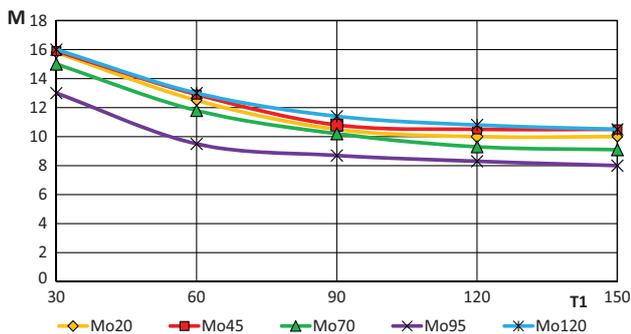


Рис. 2. Зависимость между опытными значениями времени смешивания (T_1) и остаточной мутностью воды после обработки в процессе водоподготовки

Fig. 2. Relationship between experimental values of mixing time (T_1) and residual turbidity of water after treatment during water preparation

Соблюдение оптимального временного предела процесса смешивания (T_1) при сохранении постоянной величины как для

непрерывности процесса перемешивания (T_2), так и для градиента скорости перемешивания (G_2), привело к определению экспериментального градиента процесса смешивания (G_1) при различных уровнях мутности воды (табл. 3).

Для определения оптимального значения градиента скорости смешивания (G_1) был построен график зависимости экспериментальных значений градиента скорости смешивания (G_1) от остаточной мутности воды после обработки в процессе водоподготовки, как показано на рисунке 3.

Эффективность процесса флокуляции, размер и плотность образующихся хлопьев в большой степени зависят от интенсивности и продолжительности перемешивания T_2 [14-16], что сокращает время достижения адсорбционного равновесия с глинистыми и латексными частицами. Но при этом уменьшается количество абсорбированного флокулянта, а также разрушается часть образующихся при флокуляции агрегатов.

Таблица 3

**Экспериментальные значения коэффициента градиента скорости смешивания (G_1)
при различных степенях мутности воды**

Table 3

Experimental values of the mixing rate gradient coefficient (G_1) at different degrees of turbidity of water

Экспериментальные значения коэффициента градиента скорости смешивания (G_1) <i>Experimental values of the mixing rate gradient coefficient (G_1)</i>	Остаточная мутность воды после обработки (M), при оптимальном значении (T_1) и фиксированном значении (T_2, G_2) для каждого показателя мутности сырой воды (M_0), мг/л <i>Residual turbidity of water after treatment (M), at an optimal value (T_1) and a fixed value (T_2, G_2) for each indicator of turbidity of raw water (M_0), mg/l</i>				
	$M_0 = 20$	$M_0 = 45$	$M_0 = 70$	$M_0 = 95$	$M_0 = 120$
200	16,1	14,0	15,2	15,0	14,0
250	14,5	11,9	13,3	13,0	11,0
300	13,0	9,9	11,4	10,6	9,0
350	12,5	9,0	10,8	9,5	7,8
400	12,0	8,7	10,6	8,7	7,5

Непрерывность процесса перемешивания (T_2) определялась в зависимости от переменных значений для (T_2) и оптимальных значений параметров процесса смешивания (T_1, G_1), а значения коэффициента градиента скорости перемешивания (G_2) фиксировались (табл. 4).

Оптимальные значения параметров (T_2) устанавливаются по закономерностям изменения экспериментальных значений непрерывности процесса перемешивания (T_2) и остаточной мутностью воды после обработки (M), как показано на рисунке 4.

Следует отметить, что определение оптимального градиента скорости процесса перемешивания (G_2) позволяет сократить время коагуляции, увеличить плотность образующихся хлопьев и уменьшить дозу коагулянта [17]. Для определения коэффициента градиента скорости перемешивания (G_2) принимались оптимальные значения параметров (T_1, G_1, T_2).

Измеренные значения мутности после процесса обработки (M) приведены в таблице 5.

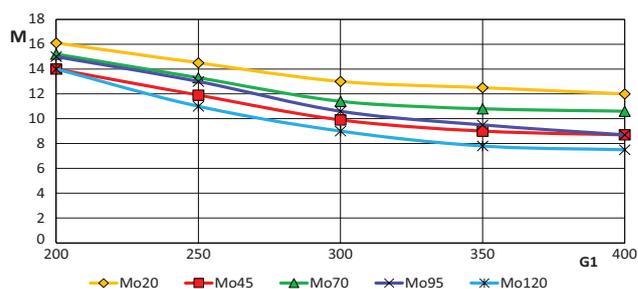


Рис. 3. Зависимость между экспериментальными значениями коэффициента градиента скорости смешивания (G_1) и остаточной мутностью воды после обработки в процессе водоподготовки

Fig. 3. Relationship between experimental values of the mixing rate gradient coefficient (G_1) and residual turbidity of water after treatment during water treatment

Таблица 4

Экспериментальные значения непрерывности процесса перемешивания (T_2) при различной степени мутности воды

Table 4

Experimental values of continuity of the mixing process (T_2) at different degrees of turbidity of water

Экспериментальные значения времени процесса перемешивания (T_2), с Experimental values of continuity of the mixing process (T_2)	Остаточная мутность воды после обработки (M), при оптимальном значении (T_1, G_1) и фиксированном значении (G_2) для каждого показателя мутности сырой воды (M_0), мг/л Residual turbidity of water after treatment (M), at optimal value (T_1, G_1) and fixed value (G_2) for each raw water turbidity index (M_0), mg/l				
	$M_0 = 20$	$M_0 = 45$	$M_0 = 70$	$M_0 = 95$	$M_0 = 120$
480	17,0	12,0	16,5	16,0	14,5
810	13,0	10,0	12,8	12,6	11,0
1140	12,1	8,3	10,5	9,9	8,5
1470	11,8	7,3	9,3	8,2	7,5
1800	11,5	6,0	8,7	7,0	6,3

Таблица 5

Экспериментальные значения коэффициента градиента скорости перемешивания (G_2) при различной степени мутности воды

Table 5

Experimental values of the gradient coefficient of the mixing rate (G_2) at different degrees of turbidity of water

Экспериментальные значения коэффициента градиента скорости перемешивания (G_2) Experimental values of the gradient coefficient of the mixing rate (G_2)	Остаточная мутность воды после обработки (M), при оптимальном значении (T_1, G_1, T_2) для каждого показателя мутности сырой воды (M_0), мг/л Residual turbidity of water after treatment (M), at the optimal value (T_1, G_1, T_2) for each indicator of turbidity of raw water (M_0), mg/l				
	$M_0 = 20$	$M_0 = 45$	$M_0 = 70$	$M_0 = 95$	$M_0 = 120$
40	13,0	11,2	10,9	11,3	14,5
50	12,0	10,0	9,5	10,3	13,4
60	11,4	8,7	8,3	9,4	12,2
70	11,2	8,3	7,5	8,6	11,5
80	11,0	8,2	7,4	8,5	11,2

После определения экспериментальных значений коэффициента градиента скорости перемешивания (G_2) для различной степени мутности воды был составлен график зависимости между экспериментальными значениями (G_2) и остаточной мутностью воды после обработки (M). Это позволяет определить оптимальные значения параметров (G_2) для каждого исследуемого уровня мутности природной воды (рис. 5).

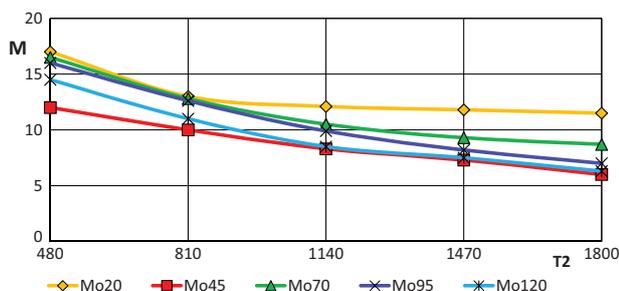


Рис. 4. Зависимости между экспериментальными значениями (T_2) и остаточной мутностью воды после обработки (M)

Fig. 4. Relationships between experimental values (T_2) and residual turbidity of water after treatment (M)

Таким образом, в результате исследований установлены оптимальные значения остаточной мутности воды после обработки в зависимости от используемых параметров смешивания (T_1 , G_1) и значений параметров перемешивания (T_2 , G_2), которые могут быть приняты в процессе обработки воды для получения оптимального результата (табл. 6).

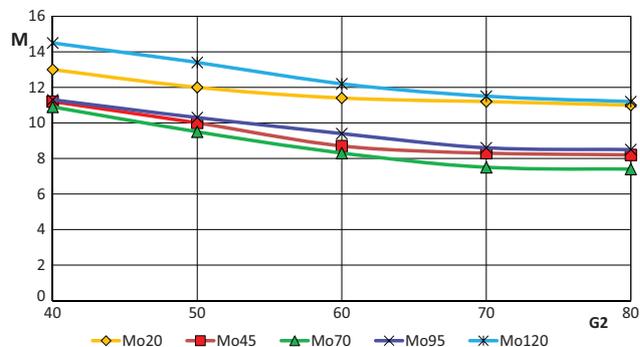


Рис. 5. Зависимости между экспериментальными значениями (G_2) и остаточной мутностью воды после обработки (M)

Fig. 5. Relationships between experimental values (G_2) and residual turbidity of water after treatment (M)

Таблица 6

Оптимальные значения параметров процесса смешивания и перемешивания при различной степени мутности исходной воды

Table 6

Optimal values of the parameters of the mixing and agitation process at different degrees of turbidity of the source water

Мутность, мг/л Turbidity, mg/l	T_1 (с)	G_1 (с ⁻¹)	T_2 (с)	G_2 (с ⁻¹)
20	90	300	1140	60
45	80	350	1140	60
70	75	300	1470	70
95	60	300	1470	70
120	45	350	1140	70

Выводы

Для достижения нормативных показателей качества воды поверхностных источников Сирии в условиях зарегулированного стока разработан и исследован совмещенный блок подготовки питьевой воды с использованием сжатого воздуха для перемешивания.

Установлены оптимальные значения параметров процессов смешивания и перемешивания, что позволило повысить эффективность перемешивания и качество очистки воды, уменьшить эксплуатационные затраты на очистку и оптимизировать компоновку элементов системы водоподготовки.

Библиографический список

1. Ghernaout D., Aichouni M. and Alghamdi A. (2018). Applying Big Data (BD) in Water Treatment Industry: A New Era of Advance. International Journal of Advances in Applied Sciences, 5, 89-97. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2018.03.013>.

References

1. Ghernaout D., Aichouni M. and Alghamdi A. (2018) Applying Big Data (BD) in Water Treatment Industry: A New Era of Advance. International Journal of Advances in Applied Sciences, 5, 89-97. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2018.03.013>

2. **Ghernaout D., Alshammari Y. and Alghamdi A.** (2018). Improving Energetically Operational Procedures in Wastewater Treatment Plants. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 5, 64-72. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2018.09.010>.

3. **Онищенко Г.Г., Тимофеева О.А.** Гигиеническая оценка обеспечения питьевой водой населения Российской Федерации и меры по ее улучшению // *Гигиена и санитария*. – 2009. – № 2. – С. 4-13.

4. СанПиН 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. – [Электронный ресурс]. — URL: <http://www.docs.cntd.ru/document/901816579>.

5. **Alshammari Y., Ghernaout D., Aichouni M. and Touahmia M.** Improving Operational Procedures in Riyadh's (Saudi Arabia) Water Treatment Plants Using Quality Tools, *Applied Engineering*. Vol. 2. – № 2. – 2018. – Pp. 60-71. Doi: 10.11648/j.ae.20180202.15.

6. **Вологодский Н.В., Проневич А.В., Яковлев А.Б.** Экспериментальное исследование циклонных фильтров пневматической системы автоматического управления газотурбинного двигателя для увеличения степени очистки // *Омский научный вестник*. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 101-108.

7. **Metcalf Eddy.** (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*, 4th edn. McGraw-Hill, Boston.

8. **Гандурина Л.В., Квитка Л.А., Шахгалдян М.К.** Снижение цветности природных вод с применением органических коагулянтов // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2019. – № 7. – С. 10-15.

9. **Сафронов М.А., Тимофеева О.А.** Расчет дозы минерального коагулянта при очистке воды по способу концентрированного коагулирования // *Инженерный вестник Дона*. – 2020. – № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/N3y2020/6342>.

10. **Гетманцев С.В., Сычев А.В., Гетманцев В.С.** Перспективы коагуляционной обработки вод // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2018. – № 11. – С. 37-41.

11. **Журба М.Г., Квартенко А.Н.** Активация биофлокуляционных процессов водоподготовки в постоянном магнитном поле // *Вода: химия и экология*. – 2009. – № 3. – С. 20-27.

12. **Косиченко Ю.М.** Технологии удаления сероводорода в процессе обработки подземных вод / Ю.М. Косиченко, В.Ф. Сильченко // *Экология и водное хозяйство*. – 2020. – № 1 (04). – С. 43-59. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-1-43-59.

2. **Ghernaout D., Alshammari Y. and Alghamdi A.** (2018) Improving Energetically Operational Procedures in Wastewater Treatment Plants. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 5, 64-72. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2018.09.010>

3. **Onischenko G.G., Timofeeva O.A.** Gigenicheskaya otsenka obespecheniya pitjevoj vody naseleniya Rossijskoj Federatsii i mery po ee uluchsheniyu // *Gigiena i ee sanitariya* – 2009. – No. 2. – S. 4-13.

4. SanPiN2.1.4.1110-02 Zony sanitarnoj oh-rany istochnikov vodosnabzheniya i vodoprovodov pitjevogo naznacheniya [electronny resurs] / <http://www.docs.cntd.ru/document/901816579>.

5. **Alshammari Y., Ghernaout D., Aichouni M. and Touahmia M.** Improving Operational Procedures in Riyadh's (Saudi Arabia) Water Treatment Plants Using Quality Tools, *Applied Engineering*. Vol. 2, No. 2, – 2018, – pp. 60-71. Doi: 10.11648/j.ae.20180202.15.

6. **Vologodsky N.V., Pronevich A.V., Yakovlev A.B.** Experimentalnoe issledovanie tsiklonnykh filtrov pnevmaticheskoy sistemy upravleniya gasoturbinnogo dvigatelya dlya uvelicheniya stepeni ochistki // *Omskij nauchnyj vestnik*. – 2020. Tom 4. – Omsk, 2020. – № 3. – S. 101-108.

7. **Metcalf, Eddy** (2003) *Wastewater engineering: treatment and reuse*, 4th ed. McGraw-Hill, Boston.

8. **Gandurina L.V., Kvitka L.A., Shakhgal-dyan M.K.** Snizhenie tsvetnosti prirodnykh vod s primeneniem organicheskikh koagulyantov // *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tehnika*. – 2019. – No. 7. – S. 10-15.

9. **Safronov M.A.** Raschet dosy mineralnogo coagulyanta pri ochistke vody po sposobu contsen-trirovannogo coagulirovaniya // *Inzhenerny vestnik Dona*. – 2020. – No. 3. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/N3y2020/6342>.

10. **Getmantsev S.V., Sychev A.V., Getmantsev V.S.** Perspektivy coagulyatsionnoj obrabotki vod // *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tehnika*. – 2018. – No 11. – S. 37-41.

11. **Zhurba M.G., Kvartenko A.N.** Aktivatsiya bioflokulyatsionnykh protsessov vodopodgotovki v postoyannom magnitnom pole // *Voda: hi-miya i ekologiya*. – 2009. – No 3. – S. 20-27.

12. **Kosichenko Yu.M.** Tehnologii udaleniya serovodoroda v protsesse obrabotki podzemnykh vod / Yu.M. Kosichenko, V.F. Silchenko // *Ekologiya i vodnoe hozyajstvo*. – 2020. – No. 1 (04) – S. 43-59. DOI: 10.31774/2658-7890-2020-1-43-59.

13. **Lebedev D.N.** Sovershenstvovanie tehnologii hlorigirovaniya prirodnykh vod v tselyah povysheniya kachestva pitjevoj vody (na primere

13. **Лебедев Д.Н.** Совершенствование технологий хлорирования природных вод в целях повышения качества питьевой воды (на примере г. Волгоград): Автореф. ... канд. техн. наук. – Пенза, 2008. – 19 с.

14. **Al Arni S., Amous J. and Ghernaout D.** (2019). On the Perspective of Applying of a New Method for Wastewater Treatment Technology: Modification of the Third Traditional Stage with Two Units, One by Cultivating Microalgae and Another by Solar Vaporization. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 16, Article ID: 555934. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.16.555934>.

15. **Ghernaout D., Badis A., Braikia G., Mataam N., Fekhar M., Ghernaout B. and Boucherit A.** (2017). Enhanced Coagulation for Algae Removal in a Typical Algeria Water Treatment Plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 16, 2303-2315. <https://doi.org/10.30638/eemj.2017.238>.

16. **Gilpavas E., Dobrosz-Gomez I., Gomez-Garcia M.A.** Optimization and toxicity assessment of a combined electro coagulation, $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ and activated carbon adsorption for textile wastewater treatment, *Sci. Total Environ.*, 651 (2019) 551-560.

17. **Васильева А.И.** Влияние фитопланктона на образование ТГМ / А.И. Васильева, М.Р. Насырова, Л.И. Кантор и др. // Сб. материалов 8-го Межд. конгресса «Вода: экология и технология». ЭКВАТЭК-2008. – М.: ЗАО «Фирма СИБИКО Интернэшнл», 2008.

Критерии авторства

Михеев П.А., Саббух Х.Ш., Исмаил Х.А.А. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Михеев П.А., Саббух Х.Ш., Исмаил Х.А.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию: 19.12.2021 г.

Одобрена после рецензирования 21.01.2022 г.

Принята к публикации 14.02.2022 г.

g. Volgograd) [Text]: avtoref. ... kand. tehn. nauk / Lebedev Dmitry Nikolayevich. – Penza, 2008. – 19 s.

14. **Al Arni S., Amous J. and Ghernaout D.** (2019) On the Perspective of Applying of a New Method for Wastewater Treatment Technology: Modification of the Third Traditional Stage with Two Units, One by Cultivating Microalgae and Another by Solar Vaporization. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 16, Article ID: 555934. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.16.555934>

15. **Ghernaout D., Badis A., Braikia G., Mataam N., Fekhar M., Ghernaou B. and Boucherit A.** (2017) Enhanced Coagulation for Algae Removal in a Typical Algeria Water Treatment Plant. *Environmental Engineering and Management Journal*, 16, 2303-2315. <https://doi.org/10.30638/eemj.2017.238>

16. **Gilpavas E., Dobrosz-Gomez I., Gomez-Garcia M.A.**, Optimization and toxicity assessment of a combined electro coagulation, $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$ and activated carbon adsorption for textile wastewater treatment, *Sci. Total Environ.*, 651 (2019) 551-560.

17. **Vasilieva A.I.** Vliyanie fitoplanktona na obrazovanie TGM / A.I. Vasilieva, M.R. Nasyrova, L.I. Kantor idr. // Sb. Mat-lov 8-go MK "Voda: ecologiya i tehnologiya" EKWATEK-2008 [Electronny resurs]. – М.: ЗАО "Фирма СИБИКО International", 2008.

Criteria of authorship

Mikheev P.A., Sabbukh H.S., Ismail H.A.A. performed theoretical and experimental studies, on the basis of which they carried out a generalization and wrote a manuscript. Mikheev P.A., Subukh H.S., Ismail H.A.A. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 19.12.2021

Approved after reviewing 21.01.2022

Accepted for publication 14.02.2022