

УДК 628.161.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОСВЕЩЕНИЯ ВОДЫ НА МОДЕЛИ ТРУБЧАТОГО ОТСТОЙНИКА

*Р.Ш. Мамбетова, И. Абдурасулов*

Исследованы процессы осветления воды на экспериментальной модели тонкослойного отстойника на образцах природной воды с использованием математического метода планирования эксперимента по методу Бокса–Вильсона. В ходе эксперимента было установлено, что белый каолин вполне выполняет функцию коагулянта анионной структуры, и чем больше его доза, тем больше интенсивность взвесеобразования. Определены зависимость эффекта осветления от скорости протекания воды в ячейках отстойника и дозы реагента. Выявлено, что принятая конструкция камеры хлопьеобразования не обеспечивала постоянный контактный слой, образованный из осадков, и процесс хлопьеобразования идет сравнительно вяло, что объясняется несовершенством конструкции гидравлической камеры хлопьеобразования.

*Ключевые слова:* природная вода; эффект осветления; тонкослойный отстойник; доза реагента; каолин; камера хлопьеобразования.

---

## ТҮТҮКТҮҮ ТУНДУРГУЧТА СУУНУ ТУНДУРУУНУН ТЕХНОЛОГИЯЛЫК ПРОЦЕССТЕРИН ИЗИЛДӨӨ

Бул макалада Бокса–Вильсондун методу боюнча экспериментти пландаштыруунун математикалык методун колдонуу менен табигый суунун үлгүсүндө жука катмарлуу тундургучтун эксперименталдык моделинде сууну тундуруу процесси изилдөөгө алынды. Эксперименттин жүрүшүндө белгиленгендей, ак каолин аниондук структуранын коагулянттынын функциясын толугу менен аткара алат, анын дозасы канчалык көп болсо, ошончолук салмак кошуу интенсивдүүлүгү көбүрөөк болот. Суунун тунушу тундургучтун чөңөктөрүндөгү суунун агып чыгуусунун ылдамдыгына жана реагенттин дозасына көз каранды болоору аныкталды. Кабыл алынган бүртүкчө пайда кылуучу камеранын конструкциясы тунмадан турган туруктуу байланыш катмаын камсыз кыла алган жок, бүртүкчө пайда кылуу да жай жүрөт, мунун өзү бүртүкчө пайда кылуучу гидравликалык камеранын конструкциясы начар экендиги менен түшүндүрүлөт.

*Түйүндүү сөздөр:* табигый суу; сууну тазалоо; жука катмарлуу тундургуч; реагенттердин өлчөмү; каолин; бүртүкчө пайда кылуучу камера.

---

## RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF WATER CLARIFICATION ON THE MODEL OF A TUBULAR SETTLER

*R.Sh. Mambetova, I. Abdurasulov*

The article describes the investigation of the process of water clarification on the experimental model of a thin layer sedimentation tank. The studies were carried out on samples of natural water using the mathematical method of experiment planning. The experiment was planned using the Box-Wilson method. For the first stage of experimental studies, it was supposed to change the flow rate of water in the settler and the dose of the coagulant. In the course of the experiment, it was determined that white kaolin fully fulfills the function of an anionic coagulant, and the more its dose, the greater the intensity of suspension formation. As a result of the studies, the dependence of the clarification effect on the flow rate of water in the settler cells and the dose of the reagent was determined. As a result of the conducted studies, it was revealed that the adopted design of the flocculation chamber did not provide a constant contact layer formed from precipitation and the flocculation process is comparatively sluggish, which is explained by the incomplete design of the hydraulic flocculation chamber.

*Keywords:* natural water; clarification effect; thin layer sedimentation tank; reagent dose; kaolin; flocculation chamber.

Для выявления возможности эффективного использования тонкослойных отстойников для осветления поверхностных вод, аналогичных речным водам предгорной зоны Чуйской долины, были выполнены экспериментальные исследования в лабораторных условиях кафедры “Инженерные сети и оборудование зданий” КРСУ.

В состав экспериментальной установки входили устройства для подачи исходной воды, дозатор реагента, дырчатый смеситель, камера хлопьеобразования, совмещенная с трубчатым отстойником. Опыты на указанной модели были проведены при угле наклона к горизонту около 60° (т. н. “наклонный” тип отстойника). В конструкции модели отстойника была принята гидравлическая камера хлопьеобразования вихревого типа, в месте конической расширяющейся входной части, была загружена гравием (крупностью 5–12 мм) на высоту 3,0 см. В качестве щелочных реагентов была использована каустическая сода.

Контроль и измерение скорости потока в отстойнике, а также вводимые дозы реагентов производили объемным методом. Концентрацию взвесей во всех пробах определяли с помощью фотоэлектроколориметра – ФЭК-Н-57. Одновременно проводили определение и других физико-химических показателей исходной и обработанной воды, таких как рН, щелочность, содержание взвешенных веществ, цветность и др.

Показателем оценки эффективности работы трубчатого отстойника был выбран эффект осветления:

$$\mathcal{E} = \frac{F_{исх} - F_{отст}}{F_{исх}} \times 100\%, \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}$  – эффект осветления, %;  $F_{исх}$  – концентрация взвесей в исходной воде, мг/л;  $F_{отст}$  – концентрация взвесей в отстоенной воде, мг/л.

На первом образце природной воды были проведены исследования с использованием математического метода планирования эксперимента [1], что позволило минимизировать число обязательных опытов при получении надежной взаимосвязи между исследуемыми параметрами. На втором образце проводили проверочные (выборочные) опыты.

Современный метод математического планирования эксперимента является результатом обобщенных работ многих исследователей. Однако основополагающей считается работа Бокса и Вильсона [2], где впервые сформулированы и доведены до практических рекомендаций идеи последовательного движения к оптимуму и использование при этом полиномиальных уровней.

Полагая, что в нашем случае линейная модель окажется адекватной, планирование эксперимента проводилось по методу Бокса-Вильсона. Для первой стадии экспериментальных исследований

предполагалось изменять скорость протекания воды в отстойнике и дозу коагулянта, которые соответственно, обозначены как  $X_I$  и  $X_{II}$ , т. е. использовать эксперимент типа ПФЭ-2.

Следует отметить, что чрезмерное уменьшение скорости протекания воды в отстойнике или увеличение дозы каолина, несомненно, дает высокий эффект улучшения качества воды, но является технически и экономически не целесообразным [3]. Поэтому выбор области определения осуществляли в соответствии с общепринятыми данными: по скорости протекания воды через трубчатый отстойник при реагентом осветлении природных вод [4], а выбор  $X_{II}$  осуществляли исходя из результатов определений осаждения взвесей.

На рисунке 1 представлены кривые осаждения взвесей при добавлении в исходную воду коагулирующего вещества каолина.

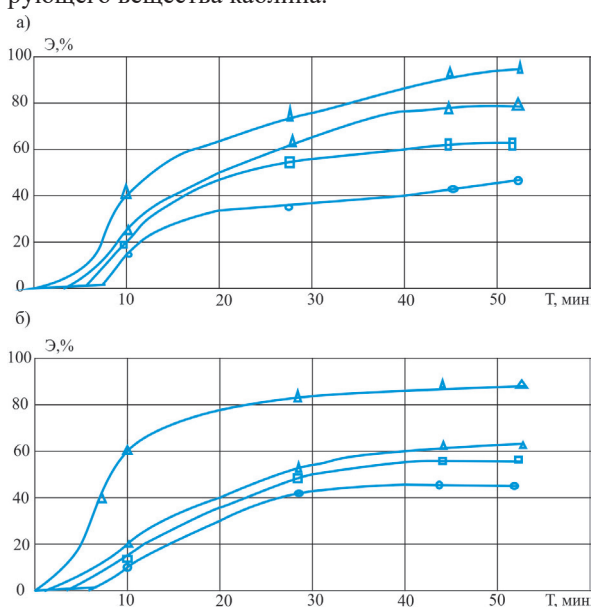


Рисунок 1 – Кривые осаждения взвешенных веществ в гомогенной среде при пробном подщелачивании:

а – при  $M_{исх} = 2000$  мг/л; б – при  $M_{исх} = 1000$  мг/л:  
 $\Delta$  –  $D_k = 200$  мг/л;  $\blacktriangle$  –  $D_k = 150$  мг/л;  $\square$  –  $D_k = 120$  мг/л;  
 $\bullet$  –  $D_k = 80$  мг/л

Уровни и интервалы варьирования двух факторов приведены в таблице 1

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования

| Фактор   | Уровень |     |     | Интервал варьирования I | Единица измерения               |
|----------|---------|-----|-----|-------------------------|---------------------------------|
|          | -I      | 0   | +I  |                         |                                 |
| $x_I$    | 6       | 10  | 14  | 4                       | м/ч                             |
| $x_{II}$ | 80      | 100 | 120 | 20                      | мг/л, считая на продукт каолина |

Матрица планирования и условия проведения опытов в кодированных и натуральных значениях факторов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица планирования

| Номер опыта в матрице | Скорость протекания воды в отстойнике |     | Доза каолина |      |
|-----------------------|---------------------------------------|-----|--------------|------|
|                       | код                                   | м/ч | код          | мг/л |
| 1                     | +1                                    | 14  | +1           | 120  |
| 2                     | -1                                    | 6   | +1           | 120  |
| 3                     | +1                                    | 14  | -1           | 80   |
| 4                     | -1                                    | 6   | -1           | 80   |

Переход от натуральных значений факторов к кодированным значениям осуществлялся с помощью следующего преобразования:

$$xi = \frac{c_i - c_i}{J}, \quad (2)$$

где  $xi$  – кодированное значение фактора (безразмерная величина);  $c_i - c_i$  – натуральное значение фактора (соответственно его текущее значение и значение на нулевом уровне);  $J$  – натуральное значение интервала варьирования фактора  $c_i$ ;  $i$  – номер фактора.

Матрица планирования, результаты двух параллельных опытов (округленные до целых чисел) и значение дисперсии среднего арифметического приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица планирования

| Номер строки | Порядок проведения двух повторных опытов | $X_I$ | $X_{II}$ | $U^1u$ | $U^2u$ | $\bar{U}$ | $S^2j$ |
|--------------|--|-------|----------|--------|--------|-----------|--------|
| 1            | 4:7                                      | +I    | +I       | 53     | 49     | 51        | 8      |
| 2            | 3:8                                      | -I    | +I       | 62     | 66     | 64        | 8      |
| 3            | 1:6                                      | +I    | -I       | 26     | 24     | 25        | 2      |
| 4            | 2:5                                      | -I    | -I       | 46     | 44     | 45        | 2      |

Примечание. Здесь  $U^1u - U^2u$  – результаты двух опытов по эффекту осветления  $\epsilon$  %;  $\bar{U}$  – их среднее значение. Каждое значение  $U^1u - U^2u$  является средним из 10–16 определений.

Рабочая матрица и полученные экспериментальные данные по эффекту осветления воды после трубчатого отстойника позволили определить коэффициент регрессии следующего уравнения:

$$\bar{U} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_2 + b_{22}X_2^2. \quad (3)$$

После определения значений коэффициентов регрессии и в результате вычислений был найден эффект осветления:

$$\epsilon = 78,7 + 0,605D_k - 13V_0 + 0,52V_0^2, \quad (4)$$

где  $\epsilon$  – эффект осветления воды в %;  $D_k$  – доза извести, мг/л;  $V_0$  – скорость протекания потока в ячейках отстойника, м/ч.

На рисунке 2 приведены зависимости эффекта осветления от скорости протекания воды в ячейках отстойника и дозы каолина. Эти зависимости получены исходя из (4) варьированием величин одной из переменных при постоянном значении – второй переменной. Видно, что несмотря на повышенные скорости движения потока в ячейках отстойника –  $6 \div 12$  м/ч, при дозах извести  $40 \div 80$  мг/л эффект осветления воды достигает в отстойнике  $50 \div 80$  %. При скорости протекания воды в отстойнике  $6 \div 12$  м/ч, время пребывания воды в отстойнике составляет  $10 \div 5$  мин, а число Рейнольдса находится в пределах  $22 \div 45$ .

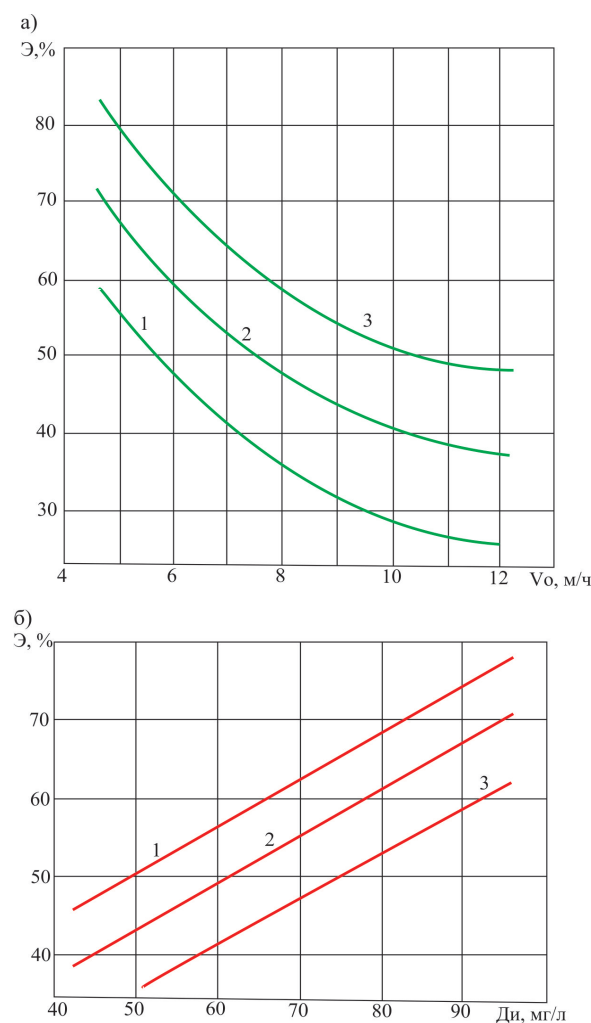


Рисунок 2 – Изменение эффекта осветления воды, прошедшей трубчатый отстойник, в зависимости от скорости потока в ячейках отстойника (а) и дозы щелочи (б): а) при  $D_k = \text{const}$ ; б) при  $V_0 = \text{const}$

Следует отметить, что наклонное положение отстойника обеспечивало сползание осадка в камеру хлопьеобразования и позволило совместить процесс хлопьеобразования и осаждения. Согласно визуальным наблюдениям по достижению определенной концентрации осадка в камере хлопьеобразования, выпавшие отложения перестают сползать и не перемещаются потоком воды, подвергаясь лишь уплотнению под действием позже осевших частиц.

Исследования работы модели трубчатого отстойника на обработанной известью воде показали, что при скорости потока в отстойнике  $6\div 12$  м/ч достигается высокий эффект осаждения взвешенных веществ речных вод до 80 % [5].

Кинетика осаждения взвешенных веществ в трубчатом отстойнике характеризуется определенной продолжительностью осветлительного цикла работы отстойника, равной периоду его “защитного” действия и составляет  $20\div 50$  ч. Удаление выпавших отложений из трубчатого отстойника не вызывает трудностей.

В результате исследований было выявлено, что принятая конструкция камеры хлопьеобразования не обеспечивала постоянный контактный слой, образованный из осадков и процесс хлопьеобразования проходил сравнительно вяло, что объясняется несовершенством конструкции гидравлической камеры хлопьеобразования. Небольшая модель установки и сравнительно малое количество ячеистых

элементов создавали некоторую неравномерность в распределении потока внутри модели.

Отмеченные недостатки конструкции исследуемой модели отражались на работе отстойника, поэтому их необходимо учитывать в дальнейших исследованиях.

#### *Литература*

1. Мамбетова Р.Ш. Использование установок для обработки вод открытых водоемов / Р.Ш. Мамбетова // Известия КГТУ. 2015. № (3) 36. С. 58–62.
2. Мамбетова Р.Ш. Анализ качества поверхностных вод Кыргызской Республики / Р.Ш. Мамбетова // Матер. межд. научн.-практ. конф. “Современные направления развития водоснабжения и водоотведения”. Алматы: КазНИТУ им. К.И. Сатпаева, 2016. С. 135–137.
3. Драгинский В.Л. Особенности применения коагулянтов для очистки природных цветных вод / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 1. С. 9–15.
4. Абдурасулов И. Повышение эффективности и безопасности воды в системах питьевого водоснабжения / И. Абдурасулов // Вестник КРСУ. 2008. Том 8. № 9. С. 159–164.
5. Мамбетова Р.Ш. Обработка речных вод предгорной зоны Чуйской долины на установках заводского изготовления: дис... канд. техн. наук / Р.Ш. Мамбетова. Бишкек, 2017. 130 с.