

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КОАГУЛЯЦИИ ВОДОПРОВОДНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТЮМЕНСКОГО РЕГИОНА

Загорская А.А.<sup>1</sup>, Пимнева Л.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», Тюмень, Россия (625001, Тюмень, ул. Луначарского, 2) e-mail: l.pimneva@mail.ru

Рассмотрена математическая оптимизация процессов отстаивания природных вод в условиях высокоцветных и маломутных вод Тюменского региона. Исследованы оптимальные условия применения и дозы реагентов при низких температурах на действующей водоочистной станции города Тюмени. Установлено, что использование активированного угля в качестве замутнителя повышает эффект очистки даже при низких температурах воды, что позволяет значительно понизить дозы коагулянта. Отмечено объективное улучшение показателей качества очищенной воды при использовании угольной суспензии. Определены оптимальные дозы реагентов, позволяющие достичь наилучших эффектов очистки. Внедрение автоматического дозирования на базе практических моделей в процессы очистки воды действующих водопроводных станциях региона позволит повысить качество очищенной воды, сократить расходы коагулянта и флокулянта в холодный период года, что приведет к энерго- и ресурсосбережению.

Ключевые слова: коагулянт, оптимизация, водоподготовка

## OPTIMIZATION OF PROCESSES OF COAGULATION OF CLEANSING WATERWORKS OF THE TYUMENSKOGO REGION

Zagorskaya A.A.<sup>1</sup>, Pimneva L.A.<sup>1</sup>

FGBOU VPO the «Tyumenskiy state architectural-build university», Tyumen', Russia (625001, Tyumen', street of Lunacharskogo, 2) of e-mail: l.pimneva@mail.ru

Mathematical optimization of processes of defending of natural waters is considered in the conditions of the high-coloured and littleturbid waters of the Tyumenskogo region. The optimum terms of application and dose of reagents are investigational at low temperatures at the operating water-purifying station of city of Tyumeni. It is set that the use of absorbent carbon as an opacifier promotes a cleaning effect even at the low temperatures of water, that allows considerably to lower the doses of coagulant. The objective improvement of indexes is marked. Introduction of automatic dosage on the base of practical models in the processes of water treatment operating waterworks of region will allow to promote quality of the cleared water, cut down expenses coagulant and flokulyanta in a cold period of year, that will result to in energy- and to resursosberezheniyu.

Keywords: coagulant, optimization, vodopodgotovka

Оценка степени загрязнения вод Тюменского региона в соответствии с классификацией, разработанной Гидрохимическим институтом Росгидромета с использованием комплексных оценок и 5 классов качества воды на территории области находится в пределах от 3 класса «очень загрязненная» до 4 класса «очень грязная» [2]. Особую тревогу вызывает загрязнение ионами тяжелых металлов водотоков. Уровень загрязнения крупных речных систем, имеющих хозяйственно-питьевое значение, с 2006 года вырос: по свинцу - в 8,6 раза, по кадмию – 6,3 раза, по меди – в 2,1 раз, по цинку -4,6 раза, по ртути -5,8 раза, никелю -7,9 раз, титану – 6,7 раза [1].

Использование реагентов стандартных реагентов в присутствии ионов тяжелых металлов, а также химических соединений, обуславливающих ХПК и БПК, связано с перерасходом материалов, а также с нарушением условий протекания реакций –

несоблюдение значений рН среды, что приводит к снижению эффективности очистки [5]. Учитывая, что на многих станциях водоподготовки, построенных по типовым проектам [3], реагентная очистка решается по устаревшим технологиям с использованием малоэффективных коагулянтов и флокулянтов, вопрос оптимизации методов очистки, обеспечивающих эффективную и надежную работу очистных сооружений, становится не только актуальным, но и экономически целесообразным.

Кроме внедрения современных технологий очистки воды актуальным для Тюмени и Тюменской области остается сфера автоматизации технологических процессов [6]. Будущее научного прогнозирования и оптимизации процесса водоподготовки, непосредственно работающих очистных сооружений, либо предполагаемых к строительству очистных сооружений, заключается в составлении математических моделей процесса с возможностью их программирования на ЭВМ и идентификации в реальных условиях.

### Объекты и методы

В качестве объекта исследования были выбраны процессы очистки природных вод на Метелевских водопроводных очистных сооружениях города Тюмени, в состав которых входит предварительное окисление жидким хлором, коагулирование сернокислым алюминием, отстаивание на горизонтальных отстойниках и фильтрация на скорых однослойных фильтрах [4]. Эффективность работы сооружений в течение года представлена на рисунках 1 и 2.

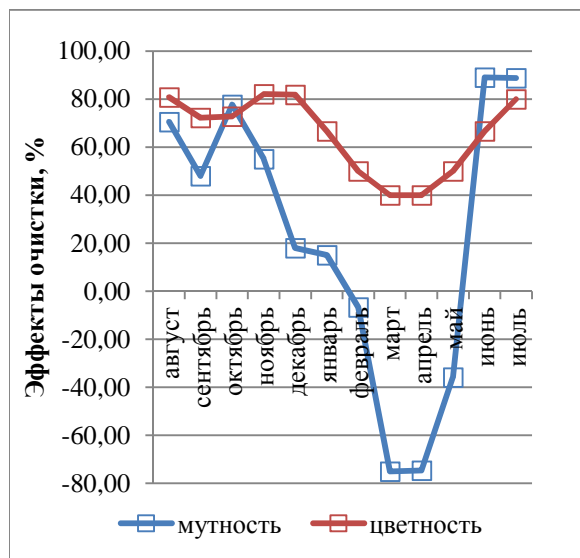


Рис. 1. Изменение эффектов очистки после отстаивания в течение года

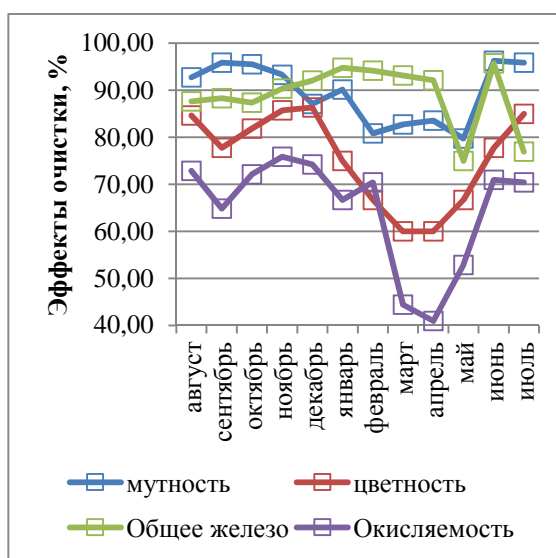


Рис. 2. Изменение эффектов очистки после фильтрации в течение года

На многих очистных сооружениях окончательным показателем протекания всего процесса очистки является качество воды на выходе очистных сооружений. Как показывают отечественные и зарубежные литературные источники, из-за сложности описания всех технологических процессов, зависящих от большого числа изменяющихся параметров, приемлемых математических моделей процессов подготовки воды и их дальнейших готовых к практическому применению программных продуктов пока нет. В связи с этим, целью исследования стало получение практических математических моделей, позволяющих контролировать дозирование реагентов, выбирая дозы в соответствии с исходным качеством воды.

Забираемая для исследования вода характеризуется следующими показателями: окисляемость - 37- 73 мгО<sub>2</sub>/л, мутность - 12-24 мг/л, цветность - 100-120<sup>0</sup>. Доза ПАА принята постоянной (1 мг/ дм<sup>3</sup>). Дозы коагулянта - 50-70 мг/ дм<sup>3</sup>. Исследование проводилось в холодный период года при температурах 8 - 12<sup>0</sup>С. В ходе предварительных исследований предпочтение было отдано мокрому дозированию угля, для чего использовалась 10% суспензия.

В ходе исследования использовались следующие реагенты: сернокислый алюминий (СА); полиакриламид (ПАА); активированный уголь (БАУ-А). Показателем для контроля эффективности обработки природных вод различными реагентами были определены перманганатная окисляемость, мутность и цветность после отстаивания.

### Обсуждение результатов

Для проведения эксперимента был выбран квази D-оптимальный план [7]. Факторы влияния приняты следующим образом:  $x_1$  - исходное количество загрязнений мг/л,  $x_2$  - доза коагулянта мг/л,  $x_3$  - доза угля мг/л. Пределы изменения факторов влияния и интервалы варьирования приведены в таблице 1.

**Таблица 1**

Границы области исследования

	Окисляемость	Мутность	Цветность	Доза коагулянта	Доза угля
$x_i$	$x_1$	$x_1$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
-1	37	12	100	50	1.5
0	55	18	110	60	2.0
1	73	24	120	70	2.5
$\Delta x_i$	22	6	10	10	0.5
Код	мгО <sub>2</sub> /л	мг/л	<sup>0</sup> С	мг/л	мг/л

Общий вид полиномиальной модели второго порядка имеет вид

$$Y(N) = \sum_{i=1}^N b_i \cdot X_i + \sum_{i < j} b_{ij} \cdot X_i \cdot X_j + \varepsilon$$

где N - число факторов;  $\varepsilon$  - влияние случайных факторов.

Число опытов для N = 3 равно 13. Расчет коэффициентов уравнения регрессии и проверка значимости коэффициентов по критерию Стьюдента проводились в среде РТС Mathcad 15.0. В результате расчетов получились следующие уравнения:

для определения окисляемости

$$y = 36,73 + 3,108x_1 + 3,113x_2 - 5,235x_3 - 3,702x_1^2 - 3,702x_2^2 - 3,702x_3^2 \quad (1)$$

для определения цветности

$$y = 53,73 + 4,12x_1 - 2,539x_2 - 2,572x_3 + 1,73x_1^2 + 1,73x_2^2 + 1,73x_3^2 \quad (2)$$

для определения мутности

$$y = 3,73 - 0,182x_1 - 0,223x_1 \cdot x_2 - 0,166x_3 + 3,68x_1^2 + 4,11x_2^2 + 3,69x_3^2 \quad (3)$$

Для проверки адекватности полученных уравнений, были проведены 6 дополнительных опытов в центре плана. С помощью критерия Фишера была проверена адекватность полученных уравнений. Установлено, что на 5% процентном уровне значимости уравнения адекватно описывают экспериментальные данные. Анализ уравнений делает очевидным, что увеличение параметра оптимизации необходимо перемещение в факторное пространство от центра плана по направлению, которое соответствует одновременному увеличению всех основных факторов.

Результаты проверки модельных и экспериментальных значений исследуемых концентраций загрязнений приведены в таблице 2.

**Таблица 2**

Сравнение концентраций загрязнений, определенных на основании модельного представления и опытным путем

Исходные концентрации загрязнений		Выходное значение концентраций загрязнений	
		Согласно модели	Согласно эксперимента
Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	12	1,06	0,97
	18	1,12	0,89
	24	1,02	0,8
Цветность, градусы	100	19,26	21,71
	110	26,57	25,36
	120	34,57	29,36
Окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	37	7,109	7,10
	55	12,106	15,51

	73	28,58	27,16
--	----	-------	-------

На основании корреляционного анализа можно сказать, что факторы  $x_1$  (окисляемость),  $x_2$  (доза коагулянта) и  $x_3$  (доза угля) увеличивают значение функции отклика (выходного значения окисляемости), причем  $x_1$  и  $x_2$  в большей степени. Факторы  $x_1$  (исходная мутность),  $x_2$  (доза коагулянта) и  $x_3$  (доза угля) уменьшают значение выходной мутности, причем  $x_1$  и  $x_3$  в большей степени. Факторы  $x_1$  (исходная цветность) и  $x_3$  (доза угля) увеличивают значение выходной цветности,  $x_3$  (доза угля) - уменьшает. На рисунке 3 представлены поверхности отклика, подтверждающие влияние факторов на функцию отклика.

Совместное решение данных уравнений позволило определить оптимальные дозы коагулянта и активированного угля при температуре воды  $8^{\circ}\text{C}$ , при которых наблюдаются максимальные эффекты очистки после отстаивания без применения окислителя (снижение окисляемости с 75 до  $33 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ , мутности с 24 до  $4 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , цветности со 120 до  $51^0$ ). Доза коагулянта -  $62 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , доза угля -  $1,8 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .

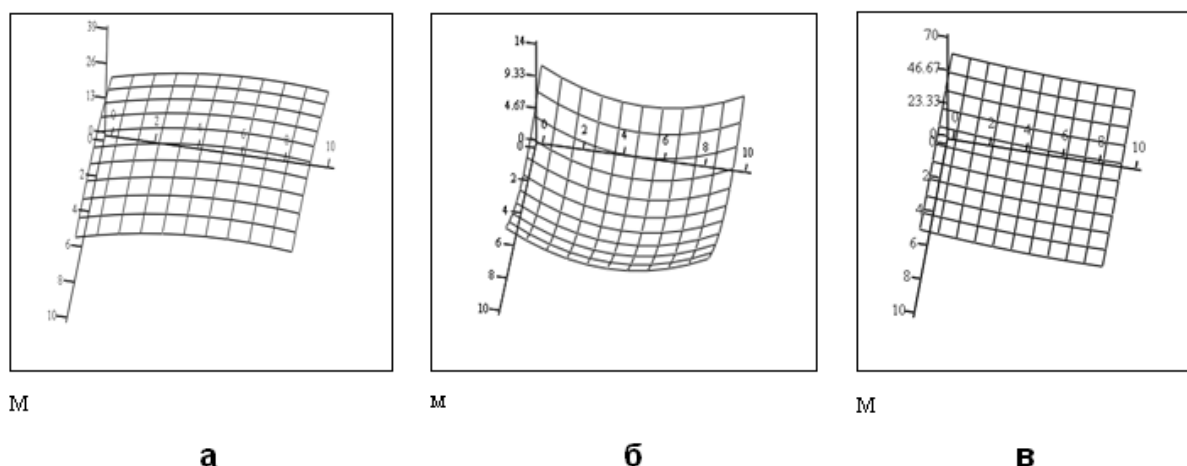


Рис. 3. Геометрические образы поверхностей отклика:

а) - Влияние дозы коагулянта и исходной окисляемости воды на значение выходной окисляемости (доза угля постоянна  $x_1$  (окисляемость) =  $x$ ,  $x_2$  (доза коагулянта) =  $y$  и  $x_3$  (доза угля) =  $const$ ; б) - Влияние дозы угля и коагулянта на значение выходной мутности при постоянной исходной мутности,  $x_1$  (исходная мутность) =  $const$ ,  $x_2$  (доза коагулянта) =  $x$  и  $x_3$  (доза угля) =  $y$ ; в) - Влияние дозы угля и коагулянта на значение выходной цветности при постоянной исходной цветности,  $x_1$  (исходная цветность) =  $const$ ,  $x_2$  (доза коагулянта) =  $x$  и  $x_3$  (доза угля) =  $y$

### Заключение

С использованием математического моделирования и микропроцессорной техники возможно более гибкое дозирование реагентов, учитывающее суточные и сезонные колебания качества воды в водоемах.

Применение практических моделей позволяет снижать затраты на материалы и реагенты, что в конечном итоге приводит к снижению себестоимости очистки воды.

Кроме того, уменьшение расхода коагулянта, приводит к снижению остаточного алюминия в очищенной воде, сокращает количество образующихся осадков, все это ведет за собой улучшение качества питьевой воды.

### Список литературы

1. Гузеева С.А. Экологическое состояние поверхностных вод и донных отложений озер г. Тюмени. Вестник КрасГАУ, 2014. - №8.
2. Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2013 году, Правительство Тюменской области, 2014 г.
3. Коева А.Ю. Обработка промывных вод станции водоподготовки города Курган на реке Тобол / А.Ю. Коева, С.В. Максимова, Г.С. Качалова. - Современные наукоемкие технологии. – 2014. - № 5-1. – С. 47-50.
4. Максимова С.В. Очистка и утилизация промывных вод скорых фильтров водопроводных станций Западно-Сибирской равнины /С.В. Максимова, А.В. Пешева, О.И. Зосуль, А.Ю. Коева, А.О. Настенко - Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1.
5. Максимова С.В. Исследование влияния реагентной обработки на эффективность осаждения донных отложений озер при использовании технологии GEOTUBE® / С.В. Максимова, А.В. Пешева, В.В. Фомина, С.Н. Скаржинец, М.Е. Шабарова - Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.
6. Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры города Тюмени, утв. Решением Тюменской городской Думы от 25 июня 2009 г. N 332
7. Севостьянов П.А. Математические методы обработки данных: учеб. пособ. для вузов /Севостьянов, П.А. - М.: МГТУ им. А.Н.Косыгина, 2004. - С. 256.
8. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод. Кульский Л. А., Накорчевекая В. Ф. — К.: Вища школа, 1983.—240 с.

### Рецензенты:

Миронов В.В., д.т.н., профессор, кафедрой водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет», г. Тюмень.

Скипин Л.Н., д.с.-х.н., профессор, заведующий кафедрой техносферной безопасности  
ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет»,  
г. Тюмень.