



ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИСХОДНОЙ ВОДЫ ПРИ ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ВОДООЧИСТКИ

В статье рассматривается научное обоснование методики выбора расчетных показателей качества воды, применяемых при проектировании водопроводных очистных сооружений, на основании математико-статистической обработки гидрохимических показателей воды источника. Определены расчетные значения показателей качества, которые были выбраны в результате анализа воды источника. Разработана методика расчета минимальной продолжительности ряда данных по показателям качества исходной воды для подбора технологии очистки. На основании полученных величин расчетных показателей качества воды предложена рациональная технологическая схема очистки воды.

Качество воды, очистка воды, показатели качества воды, водопроводные очистные сооружения, технологическая схема очистки воды, статистическая обработка данных

Определяющее влияние на состав очистных сооружений водопровода оказывает расчетный состав воды в источнике водоснабжения. Показатели качества воды в поверхностных источниках обычно испытывают значительные колебания как по сезонам года, так и по годам наблюдений. Нормативные документы [3, с. 38], [7, с. 25] требуют назначать состав очистных станций водопровода по максимальным величинам показателей за все годы наблюдений, но не менее трех лет. Это требование в ряде случаев приводит к значительному удорожанию очистных станций при их строительстве.

Для снижения затрат при проектировании, строительстве или реконструкции водопроводных очистных сооружений требуется научно обоснованная методика выбора расчетных показателей качества воды, которые будут ниже своих максимальных значений. Но при этом необходимо сохранить санитарно-гигиеническую надежность разрабатываемых сооружений. В России вопросом определения расчетных показателей, которые используются для подбора технологической схемы очистки воды для питьевых целей, занимались Ж. М. Говорова [2] и А. О. Родина [5]. В Украине же данный вопрос не рассматривался.

Целью представленной работы является научное обоснование расчетного состава воды при выборе технологической схемы очистки на основании многолетних наблюдений.

В качестве объектов исследования были выбраны канал Северский Донец – Донбасс и Макеевская фильтровальная станция (МФС).

В работе рассматривались суточные и среднемесячные гидрохимические характеристики воды канала Северский Донец – Донбасс за период более десяти лет [6]. При выборе расчетных показателей качества воды первоначально рекомендуется проанализировать все доступные показатели и выбрать из них те, которые являются наиболее значимыми при подбore технологии водоподготовки. Самыми основными показате-

лями являются мутность и цветность воды: по их значениям подбираются основные сооружения технологии очистки. Также выбираются все показатели качества, значения которых превышают ПДК для питьевой воды. В данном случае были выбраны показатели мутности, цветности, жесткости, перманганатной окисляемости и бактериальные показатели.

Далее для выбранных показателей качества были рассчитаны статистические параметры (табл. 1), выполнена проверка гипотез о законе распределения и построены кривые дифференциального и интегрального распределения [4]. В качестве примера приведены дифференциальные и интегральные функции распределения рядов наблюдений по показателям мутности и цветности (рис. 1, 2).

Проверку гипотезы о законе распределения генеральной совокупности можно осуществить, используя критерий Пирсона [1]. По итогам расчетов цветность, жесткость, перманганатная окисляемость распределены в соответствии с нормальным законом, а мутность, ОМЧ и коли-индекс – в соответствии с экспоненциальным законом. Зная закон распределения можно реконструировать ряд данных при недостаточности значений или прогнозировать будущие значения показателей качества воды.

Кривая дифференциального распределения показателя мутности аппроксимируется следующим уравнением (коэффициент корреляции $r=0,986$, среднеквадратическое отклонение $S=0,0205$):

$$y = \frac{-0,0108 + 0,0316x}{1 - 0,6110x + 0,1105x^2}. \quad (1)$$

Кривая интегрального распределения показателя мутности аппроксимируется следующим уравнением ($r=0,9993$, $S=0,0105$):

$$y = 1,1726(0,8542 - e^{-0,2954 \cdot x}). \quad (2)$$

Кривая дифференциального распределения показателя цветности аппроксимируется следующим уравнением ($r=0,722$, $S=0,0318$):

$$y = -0,201 + 0,0487x - 0,0029x^2 + 6,4132 \cdot 10^{-5} \cdot x^3. \quad (3)$$

Кривая интегрального распределения показателя цветности аппроксимируется следующим уравнением ($r=0,9993$, $S=0,0149$):

$$y = \frac{0,9921}{1 + 21318,776 \cdot e^{-0,6296 \cdot x}}. \quad (4)$$

Таблица 1

Результаты статистической обработки суточных показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс за период 2004–2011 гг.

Показатель	Мода	Среднее значение	Медиана	Минимум	Максимум	Дисперсия	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
Цветность, град	16	16,68	16	5	48	11,3	3,36	20,13
Мутность, мг/дм ³	0,58	3,92	3,03	0,47	35,37	10,8	3,29	84,05
Жесткость, мг-экв/дм ³	6,7	7,09	7,1	5,4	9,3	0,6	0,76	10,75
Перманганатная окисляемость, мг/дм ³	6	6,16	6,1	4,0	9,9	0,5	0,73	11,93
ОМЧ при 37°C	110	377	180	11	3700	168880	411	108,9
Коли-индекс	59	655	240	19	9900	848810	921	140,6

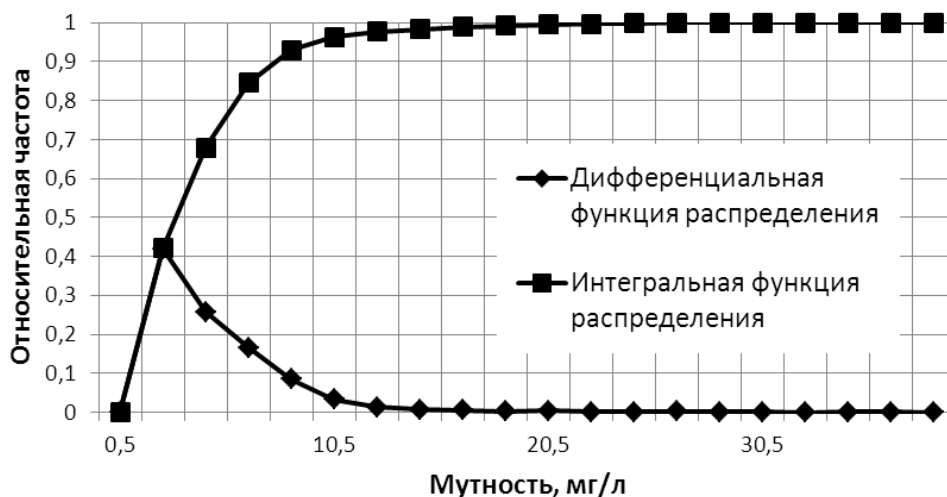


Рис. 1. Дифференциальная и интегральная функции распределения показателя мутности

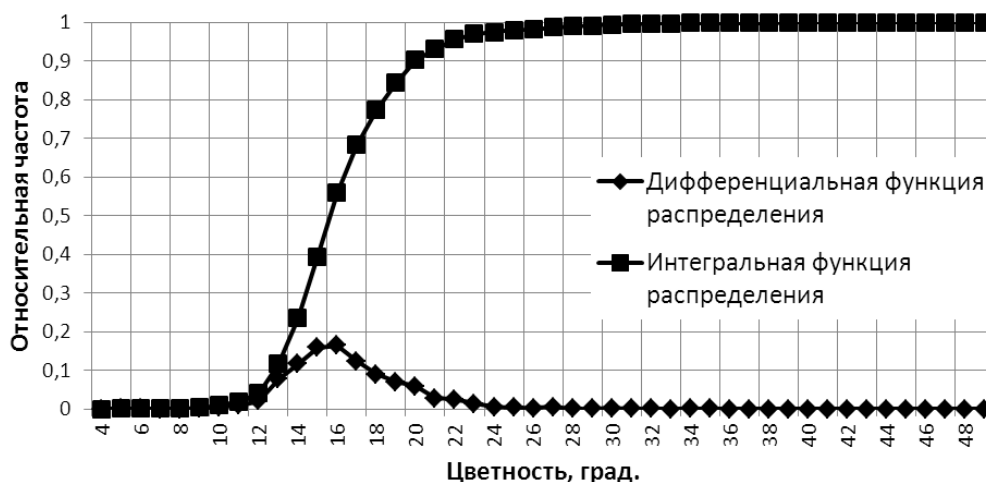


Рис. 2. Дифференциальная и интегральная функции распределения показателя цветности

Затем по построенным кривым интегрального распределения были определены расчетные значения каждого показателя с различными величинами обеспеченности, которые наиболее широко используются в науке и технике (табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что даже при обеспеченности 1% полученные значения показателей качества воды, за исключением жесткости и окисляемости, практически в два раза меньше своих максимальных значений. Если для выбора расчетного состава воды принять обеспеченность 1%, то в качестве расчетных значений будут выбраны значения меньше максимальных, что приведет к изменению состава очистных сооружений и снижению затрат на строительство и возможно эксплуатацию водопроводных очистных сооружений.

Таблица 2

Расчетные значения показателей качества воды при различной величине обеспеченности

Показатель	Обеспеченность, %			
	15	10	5	1
Цветность, град	18,7	19,5	20,8	25,7
Мутность, мг/дм ³	7,0	8,3	10,6	15,7
Жесткость, моль/дм ³	7,9	8,1	8,4	8,8
Окисляемость, мг/дм ³	6,7	6,9	7,2	9,0
ОМЧ при 37°С	740	900	1180	1890
Коли-индекс	1220	1500	1990	4200

Для того чтобы определить расчетные значения показателей качества воды, необходимо знать минимальную продолжительность периода, за который необходимо брать данные по качеству воды. В реальных условиях не всегда в распоряжении проектировщиков имеется необходимое количество данных, поэтому появляется необходимость определения минимальной продолжительности ряда наблюдений, которая сможет отобразить истинное колебание показателей качества воды во времени. Для этого в работе предлагается рассмотреть изменение величин квантилей распределения с вероятностью 0,95 (5% квантилей) в зависимости от продолжительности рядов наблюдений.

На основании проведенного ранее исследования гидрохимических показателей качества воды, были

рассчитаны 5% квантили рядов наблюдений по всем рассматриваемым показателям. Значения 5% квантилей были рассчитаны вначале для ряда наблюдений продолжительностью в один год, затем для ряда наблюдений продолжительностью в два года, и так далее до продолжительности ряда данных в одиннадцать лет (табл. 3).

Таблица 3

Значения квантилей распределения с вероятностью 0,95

Продолжительность, лет	5% квантили по показателям качества					
	цветность, град	мутность, мг/дм ³	жесткость, мг-экв/дм ³	перманганатная окисляемость, мг/дм ³	ОМЧ, к-во бактерий/см ³	коли-индекс
1	16	3	7,3	6,2	52	110
2	19,4	13,86	7,88	7	980	840
3	20,8	13,26	7,8	7,22	1068	1280
4	27,2	13,14	8,04	7,46	1100	1360
5	25	13,02	8,18	7,36	1052	2360
6	22	12,9	8,2	7,3	980	2300
7	21,4	12,54	8,23	7,3	980	2240
8	21	12,78	8,2	7,38	974	2200
9	21	12,42	8,2	7,32	956	2200
10	21	11,98	8,2	7,3	946	2040
11	21	11,5	8,2	7,3	980	2200

Если на основании полученных данных построить графики, отображающие изменение 5% квантилей распределения в зависимости от продолжительности ряда данных, то можно увидеть, что величины 5% квантилей всех рассмотренных показателей в значительной мере стабилизируются при продолжительности ряда в семь лет. При дальнейшем увеличении продолжительности ряда данных более семи лет происходит незначительное колебание величин 5% квантилей. В качестве примера приведена кривая изменения 5% квантилей серии наблюдений по показателю цветности в зависимости от продолжительности ряда (рис. 3).

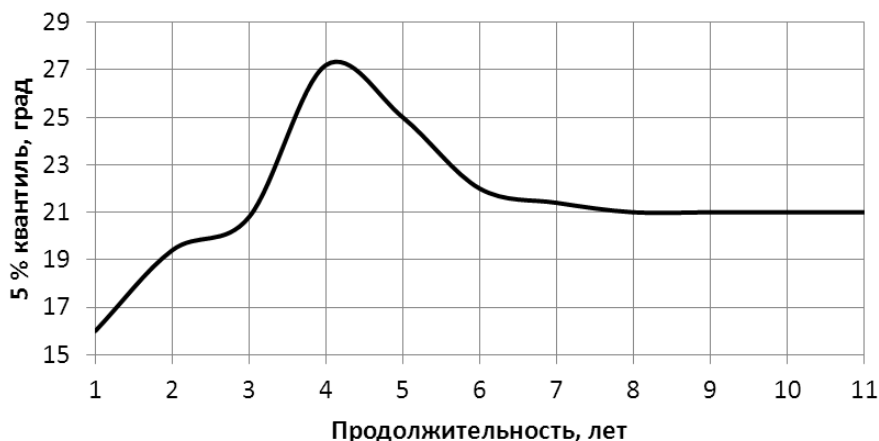


Рис. 3. Изменение 5% квантилей серии наблюдений по показателю цветности в зависимости от продолжительности ряда

Таким образом, минимальная продолжительность ряда наблюдений по качеству воды канала Северский Донец – Донбасс для определения расчетных значений при выборе технологии очистки воды составляет семь лет. Ряды наблюдений продолжительностью менее семи лет будут лишены достаточного обоснования и не позволят определить достоверные расчетные значения показателей качества воды.

С целью поддержания санитарно-гигиенической надежности очистных сооружений рекомендуется выбирать расчетные значения показателей качества исходной воды с обеспеченностью 1% при наличии одного источника водоснабжения. При использовании двух источников водоснабжения, в зависимости от качества воды в них, водопроводные очистные станции могут проектироваться на обеспеченность показателей качества воды 5% или даже 10%. Предложенная методика выбора расчетных показателей качества предполагает наличие данных многолетних наблюдений за качеством исходной воды.

В соответствии с выбранными расчетными значениями показателей качества воды канала Северский Донец – Донбасс предложена технологическая схема с двухступенчатой очисткой на контактных префильтрах и двухслойных скорых фильтрах (гранулированный активированный уголь – кварцевый песок), с обеззараживанием гипохлоритом натрия и умягчением части воды на натрий-катионитных фильтрах [8, 9, 10]. Данная технологическая схема очистки является наиболее рациональной для качества воды канала Северский Донец – Донбасс и при любых колебаниях качества исходной воды способна давать очищенную воду соответствующую требованиям действующих санитарно-гигиенических нормативов.

Был выполнен расчет экономической эффективности применения разработанной научно обоснованной методики выбора расчетного состава воды, применяемой при проектировании станций водоочистки, путем сравнения двух вариантов технологических схем очистки воды: действующая технологическая схема МФС, которая является характерной для воды канала Северский Донец – Донбасс; предложенная рациональная технологическая схема. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) по первому варианту с применением действующей схемы МФС составил 49,2 млн руб., ЧДД по второму варианту с применением научно обоснованной схемы составил 66,7 млн руб. В результате сравнения этих величин предпочтение отдается второму варианту научно обоснованной технологической схемы водопроводных очистных сооружений.

Литература

1. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов [Текст] / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
2. Говорова, Ж. М. Обоснование и разработка технологий очистки природных вод, содержащих антропогенные примеси [Текст]: дисс. ... докт. техн. наук : 05.23.04 / Говорова Жанна Михайловна. - Москва, 2004. – 389 с.
3. ДБН В.2.5-74:2013. Державні будівельні норми. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. [Текст] – Уведено вперше ; чинні від 2014-01-01. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
4. Найманов, А. Я. Обоснование расчетного состава воды при выборе технологической схемы очистки на основании многолетних наблюдений [Текст] / А. Я. Найманов, А. С. Трякина // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2015. – Вип. 2015-5(115) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 59–67.
5. Родина, А. О. Обоснование показателей качества поверхностных вод при выборе водоочистных технологий с применением теории риска [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.04 / Родина Алла Олеговна. - Вологда, 2005. – 153 с.
6. Сатин, И. В. Исследование гидрохимического режима канала Северский Донец – Донбасс [Текст]/ И. В. Сатин, А. С. Трякина // Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури. – 2014. – Вип. 2014-5(109) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 5 11.
7. СП 31.13330.2012. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. [Текст] Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*. – Введ. 2013-01-01. – М. : Минрегион России, 2012. – 124 с.
8. Трякина, А. С. Разработка рациональной технологии водоочистки с применением научно обоснованных расчетных показателей качества исходной воды [Текст]/ А. С. Трякина // Научный журнал «Записки горного института». – Санкт-Петербург: С-Пб горн. ун-т, 2017. – Т. 227. – С. 608-612.
9. Somani, S. B. Disinfection of water by using sodium chloride and sodium hypochlorite / S. B. Somani, Dr. N. W. Ingole , Dr. N. S. Kulkarni [Text]// Journal of Engineering Research and Studies. – 2011. – Vol.II/ Issue IV. – P. 40-43.
10. Tansel, B. New Technologies for Water and Wastewater Treatment: A Survey of Recent Patents [Text]/ B. Tansel // Recent Patents on Chemical Engineering. – 2008. – 1. – P. 17-26.

A.S. Tryakina

JUSTIFICATION OF CALCULATING INDICATORS OF THE QUALITY OF INITIAL WATER FOR CHOICE THE TECHNOLOGICAL WATER PURIFICATION SCHEME

The article deals with the scientific justification of the methodology for selecting the calculated water quality indicators used in the design of water treatment plants on the basis of the mathematical and statistical processing of hydrochemical indicators of water sources. The calculated values of the quality indicators that were selected as a result of the analysis of the source water were determined. The methodology for calculating the minimum duration of data of

the quality of source water for the selection of purification technologies was developed. Based on the obtained values of the calculated water quality indicators, a rational technological scheme of water purification is proposed.

Water quality, water purification, water quality indicators, water treatment plants, technological water purification scheme, statistical data processing