

Таким образом, основными факторами, влияющими на процесс удаления ГК, являются рН, доза пероксида водорода и время обработки, которое можно снизить за счет увеличения плотности потока УФ-излучения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Фракционный состав гумусовых веществ, обуславливающих цветность поверхностных вод Белорусского Полесья, оказывает существенное влияние на обесцвечивание их природными коагулянтами и окислительными методами.
2. Перспективным направлением в окислении органических загрязнений природных вод является использование пероксида водорода, так как он не образует побочных продуктов реакции с органическими веществами.
3. Применение пероксида водорода совместно с УФ-излучением позволяет эффективно удалять ГК, интенсивность окраски которых наиболее сильно влияет на цветность природных вод.
4. Механизм фотохимического окисления гуминовых кислот объясняется разрушением двойных связей молекулы ГК гидроксидными радикалами ОН, образовавшимися в результате реакции пероксида водорода и УФ-света.
5. Установлено, что наиболее полное окисление гуминовых кислот происходит в кислой среде. Помимо этого, основными параметрами, влияющими на процесс их удаления, являются доза пероксида водорода и время обработки.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Житенев Б.Н., Лычук Т.П. Теоретические предпосылки интенсификации обесцвечивания поверхностных вод Белорусского Полесья // Вестник БГТУ. – Брест, 2001, №2 – С. 85-87.
2. Фомина В.Ф., Дмитриев В.Д. Влияние состава гуминовых веществ на процесс обесцвечивания маломутных цветных вод р. Вычегды. – В кн.: Исследования в области водоснабжения. Межвузовский темат. сб. трудов. – Л.: ЛИСИ, 1980. – С.38-44.
3. Котович Э.Г. и др. Подбор дозы коагулянта для обесцвечивания и обезжелезивания воды Мухавца // Проблемы водных ресурсов. – Мн.: Наука и техника, 1981. – С. 65-68.
4. Славинская Г.В. Влияние хлорирования на качество питьевой воды / Г.В. Славинская // Химия и технология воды, 1991. – Т. 13, № 11. – С. 1013-1019.
5. Кузубова Л.И., Кобрин В.Н. Химические методы подготовки воды (хлорирование озонирование, фторирование) / Новосибирск: СО РАН, ГННТБ, НИОХ. – 1996, сер. эколог. – № 42. – 132 с.
6. Гюнтер Л.И. Летучие галогенорганические загрязнения питьевых вод, образующихся при водоподготовке / Л.И. Гюнтер и др. // Химия и технология воды, 1985 – Т. 7 – № 5. – С. 59-64.
7. Rice R.G., Gomez-Taylor M. Proceedings of the Second National Conference of drinking water. – 1986. – p. 107-133.
8. Leguble B. Chlorination of humic substances in aqueous solution: yields of volatile and major non-volatile organics halides / B. Leguble, J. Croue // Sci. Total Environ. – 1985. – №47. – P. 217-222.
9. Van Breemc A.N. The fate of fulvic acids during water treatment / A.N. Van Breemc, T.J. Nieuwstad, G.C. Van der Meentolieman // Water Res. – 1979. – 13, №8. – P. 771-779.

10. Шевченко М.А. и др. Окислители в технологии водообработки / М.А. Шевченко, П.В. Марченко, В.В. Лизунов. – К.: Наукова Думка. – 1979. – 175с.
11. Драгинский В.Л. Образование токсичных продуктов при использовании различных окислителей для очистки воды / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002, №2. – С. 9-13.
12. Гончарук В.В. Озонирование как метод подготовки питьевой воды: возможные побочные продукты и токсикологическая оценка / В.В. Гончарук // Химия и технология воды. – 1995. – Т. 17, № 1. – С. 9-15.
13. Van Hoof F. Formation of oxidation byproducts in surface water preozonation and their behaviour in water treatment / F. Van Hoof, J.G. Janssens, H. Van Duck // Water Supply. – 1986. – № 4. – P. 93-102.
14. Серышев Г.А. Химия и технология перекиси водорода / Г.А. Серышев. – Л.: Химия, 1984. – 201 с.
15. Алексеев В.С. и др. Обезжелезивание подземных вод в пласте с помощью перекиси водорода. – “Водоснабжение и санитарная техника”, 1981, №6. – С.
16. Hanson D. "Groundwater: Evaluating Your Well Problems & Maintenance Tips," WC&P. – 2001. – v.43, № 4.
17. Шевченко М.А. и др. Очистка природных и сточных вод от пестицидов. – Л.: Химия. – 1989. – 184 с.
18. Селюков А.В. Применение пероксида водорода в технологии очистки сточных вод / А.В. Селюков, Ю.И. Скурлатов, Ю.П. Козлов // Водоснабжение и санитарная техника, 1999. – № 12. – С. 25-27.
19. Селюков А.В., Тринко А.И. Использование пероксида водорода в технологии физико-химической очистки промышленных сточных вод // Экологическая химия водной среды: Матер. II Всесоюз. школы (Ереван, 11-14 мая 1988г.). – Под ред. Ю.И. Скурлатова. – М.: ИХФ АН СССР, 1988. – 52 с.
20. Кисленко В.Н. Кинетика и механизм окисления органических веществ пероксидом водорода / В.Н. Кисленко, А.А. Берлин // Успехи химии, 1991. – Т.60, № 5. – С. 949-981.
21. Серебрянников Л.В. Реакция формальдегида с пероксидом водорода / Л.В. Серебрянников, А.В. Головкин // Вестник Моск. Ун-та. Сер.2 Химия, 2005. – Т.46, № 6. – С. 370-377.
22. Кричевский Г.И. Экологические проблемы отделочного производства // Текстильная химия, 1996, №8. – С. 21-29.
23. Краснобородько И.Г. Очистка сточных вод от красителей – Л.: Химия, 1981. – 288 с.
24. Журба М.Г. и др. Очистка цветных маломутных вод, содержащих антропогенные примеси / М.Г. Журба и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 1997, №7. – С. 5-9.
25. Мураками К. и др. Фотоокислительная очистка сточных вод, содержащих ПАВ // Мидзусери гидзюцу, 1976. – 17, №1.
26. Шевченко М.А. и др. Интенсификация процесса обезвреживания некоторых ядохимикатов в водных растворах перекисью водорода и ультрафиолетовым облучением / М.А. Шевченко // Интенсификация процессов обеззараживания воды. Под ред. Л.А. Кульского. – Киев: Наукова думка, 1978. – 96 с.
27. Орлов Д.С. Химия почв: Учебник. – М.: Изд. МГУ, 1985. 376с.
28. Вошенко З.С. Методика определения гуминовых веществ в природных водах. АКФ им. Памфилова. ИФ. Письмо №21. – Л., 1954. – 8с.

УДК 628.543

**Яромский В.Н., Ковальчук В.Л.**

## КИНЕТИКА ОТСТАИВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛЁНКИ

### ВВЕДЕНИЕ

В результате биологической очистки производственных сточных вод предприятий молочной промышленности на дисковых биофильтрах образуется биологическая плёнка. Для

её отделения и осветления воды используются отстойники различного типа.

Кинетика отстаивания биологической плёнки, зависи-

*Ковальчук Вячеслав Леонтьевич, старший преподаватель каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.*

*Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

*Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика*

мость  $\mathcal{E} = f(T)$ , так же как и кинетика отстаивания взвешенных веществ, для любой категории сточных вод, имеет вид параболы [1]. Эффективность отстаивания зависит от целого ряда факторов: времени отстаивания, исходной концентрации биологической плёнки, высоты слоя, в котором происходит осаждение, температуры сточной жидкости и т.д. Исходя из данных, представленных в нормативной литературе [2], взаимосвязь высоты отстаивания и исходной концентрации на эффективность осаждения биологической плёнки в целом, и в частности, для сточных вод молокоперерабатывающих предприятий – отсутствует.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОСАЖДЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛЁНКИ

Цель исследований состоит в том, что, используя методику исследования кинетики отстаивания взвешенных веществ разработанную д.т.н. Скирдовым И.В., получить математическую модель осаждения биологической плёнки при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий.

График зависимости  $\mathcal{E} = f(T)$ , с учётом принятия времени осаждения 50% взвешенных веществ -  $T_{50}$ , считая от максимально достижимой величины эффективности отстаивания  $\mathcal{E}_{\max}$  [3], принимает следующий вид:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\max} \frac{t}{T_{50} + t} \quad (1)$$

Уравнение (1) можно привести к линейному виду, если его представить в обратных величинах [3]:

$$\frac{1}{\mathcal{E}} = \frac{1}{\mathcal{E}_{\max}} + \frac{T_{50}}{\mathcal{E}_{\max}} \cdot \frac{1}{t} \quad (2)$$

Введём обозначение  $\frac{1}{t} = S$ , тогда уравнение (2) примет вид:

$$\frac{1}{\mathcal{E}} = \frac{1}{\mathcal{E}_{\max}} + \frac{T_{50}}{\mathcal{E}_{\max}} \cdot S \quad (3)$$

такой же вид имеет и уравнение прямой  $y = a \cdot x + b$ .

Приняв, что величина  $\frac{1}{\mathcal{E}} = 0$ , и решив данное уравнение, мы получим:

$$0 = \frac{1}{\mathcal{E}_{\max}} + \frac{T_{50}}{\mathcal{E}_{\max}} \cdot S;$$

$$S = -\frac{1}{\mathcal{E}_{\max}} \cdot \frac{\mathcal{E}_{\max}}{T_{50}};$$

$$S = -\frac{1}{T_{50}}.$$

Приняв, что величина  $S = 0$ , получаем, что  $\frac{1}{\mathcal{E}} = \frac{1}{\mathcal{E}_{\max}}$ .

Таким образом, получаем, что на графике функция  $\frac{1}{\mathcal{E}} = \frac{1}{\mathcal{E}_{\max}} + \frac{T_{50}}{\mathcal{E}_{\max}} \cdot \frac{1}{t}$ , имеющая вид прямой, пересекается

с осью  $\frac{1}{\mathcal{E}}$  в точке со значением  $\frac{1}{\mathcal{E}_{\max}}$ , а пересечение с осью

$\frac{1}{t}$  – даёт величину  $\frac{1}{T_{50}}$ , откуда вычисляются константы

$\mathcal{E}_{\max}$  и  $T_{50}$ .

По зависимостям  $\mathcal{E} = f(T)$  [1], для различных концентраций биологической плёнки в воде ( $C_0$ ) и различных высот осаждения ( $H$ ) были вычислены обратные величины и построены графики  $\frac{1}{\mathcal{E}} = f\left(\frac{1}{t}\right)$ , представленные на рис.1.

Семейство прямых пересекается с осью  $\frac{1}{\mathcal{E}}$  в одной точке –  $\mathcal{E}_{\max}$ , имеющей координаты (0;0,0113) и соответствующее значению  $\mathcal{E}_{\max}=88\%$ . Пересечение с осью абсцисс  $\frac{1}{T_{50}}$  –

даёт для каждой прямой – свою ординату: при  $C_0=200$  мг/л,  $\frac{1}{T_{50}} = 0,016$ , что соответствует времени  $T_{50}=62,5$  мин; при

$C_0=600$  мг/л,  $\frac{1}{T_{50}} = 0,022$ , что соответствует времени

$T_{50}=45,5$  мин.;  $C_0=1000$  мг/л,  $\frac{1}{T_{50}} = 0,03$ , что соответствует времени  $T_{50}=33,3$  мин.

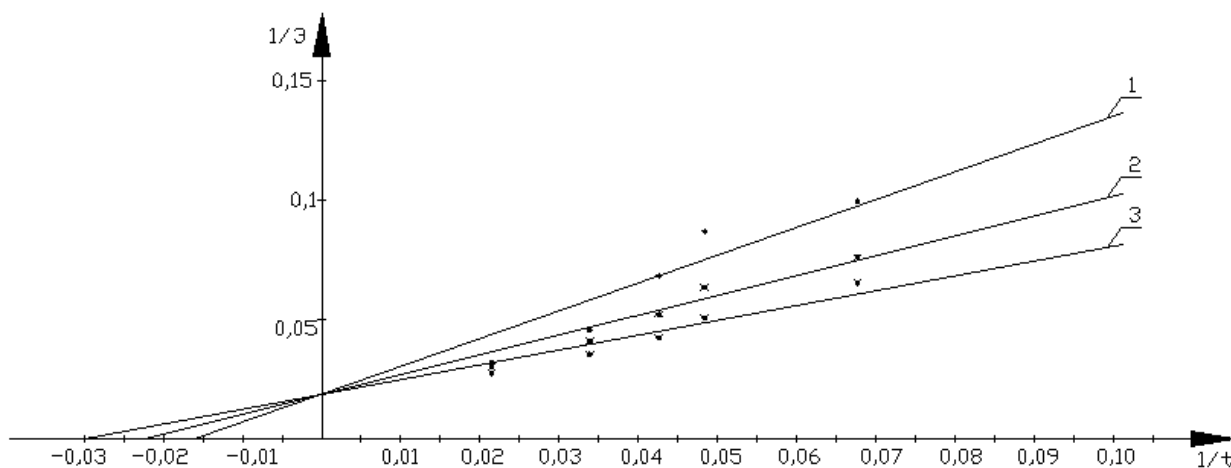


Рис. 1. График зависимости  $1/\mathcal{E}=f(1/t)$  для сточных вод молокоперерабатывающих предприятий при  $C_0$ , мг/л: 1-200; 2-600; 3-1000

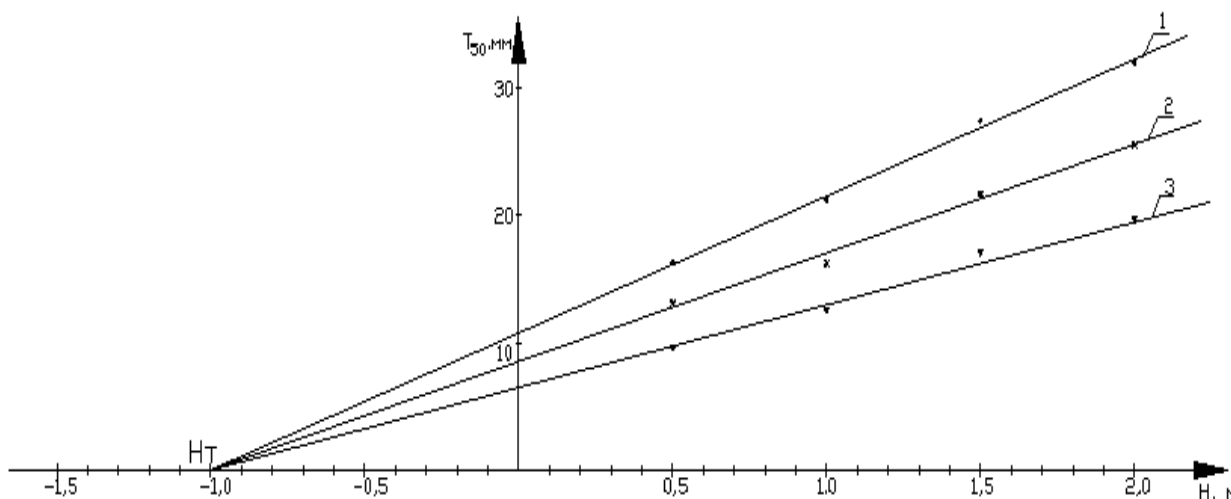


Рис. 2. График зависимости  $T_{50}=f(H)$  для сточных вод молокоперерабатывающих предприятий при  $C_0$ , мг/л: 1-200; 2-600; 3-1000

Взаимосвязь между величинами ( $T_{50}$ ) и ( $H$ ) при различных значениях концентрации биологической плёнки ( $C_0$ ) представлена на рис.2.

Пересечение прямых с осью  $T_{50}$ , дают нам три значения величины ( $T_{50}$ ) для различных концентраций биологической плёнки: 10.5, 8.5 и 7.0 мин – соответственно для концентраций 200, 600 и 1000 мг/л. А пересечение всего семейства прямых с осью абсцисс – единственное значение величины ( $H_T$ ) равное 1,0м. Таким образом, взаимосвязь величин ( $T_{50}$ ) и ( $H_T$ ) - можно так же описать уравнением прямой вида:  $y = a \cdot x + \epsilon$ . В нашем случае данное уравнение примет вид:

$$T_{50} = \epsilon + a \cdot H. \quad (4)$$

По данным графика, представленного на рис.2, строим зависимость величины ( $T_{50}$ ) от ( $C_0$ ), приведенную на рис.3.

Как видно из рис.3, зависимость величины ( $T_{50}$ ) от ( $C_0$ ) также можно представить в виде уравнения прямой [3]:  $y = \epsilon + a \cdot x$  или в нашем случае:

$$T_{50} = \alpha - \beta \cdot C_0. \quad (5)$$

Если прологарифмировать данное уравнение, то получим:

$$\log T_{50} = \log \alpha - \beta \cdot \log C_0;$$

$$\log T_{50} = \log \alpha - \log C_0^\beta;$$

$$\log T_{50} = \log \frac{\alpha}{C_0^\beta}.$$

или в нашем случае это выражение можно представить в виде:

$$T_{50} = \frac{\alpha}{C_0^\beta}. \quad (6)$$

Величина ( $T_{50}$ ) зависит от двух факторов – ( $H$ ) и ( $C_0$ ). От ( $C_0$ ) – имеет место зависимость (6), а от ( $H$ ) – зависимость вида (4). Можно предположить, что если в отдельности они имеют линейные зависимости, то и “вместе” также будут иметь вид линейной зависимости:

$$T_{50} = \frac{\alpha}{C_0^\beta} \cdot (\epsilon + a \cdot H). \quad (7)$$

Для преобразования выражения (7) принимаем, что значе- ние величины ( $H$ )=0, тогда:  $T_{50} = \frac{\alpha}{C_0^\beta} \cdot \epsilon$ , но у нас имеется зависимость (6), из которой следует, что значение величины ( $\epsilon$ )=1. Исходя из расчётов приведенных выше и данных (рис.2) получим, что выражение (4), при ( $H_T$ =-1.0), будет иметь вид:

$$1 + a \cdot (-H_T) = 0;$$

$$a \cdot (-H_T) = -1;$$

$$a = \frac{1}{H_T}.$$

Таким образом, зависимость (7) будет преобразована к виду:

$$T_{50} = \frac{\alpha}{C_0^\beta} \cdot \left(1 + \frac{H}{H_T}\right). \quad (8)$$

Следуя из графика, представленного на рис.3, прямая пересекает ось  $\log C_0$  в точке с координатами (6.25;0) а ось  $\log T_{50}$  – в точке (0;1.62). Зная данные величины, определим значения величин  $\alpha = 42$  ( $\log T_{50}=1.62$ ) и

$$\beta = \frac{\log T_{50}}{\log C_0} = \frac{1,62}{6,25} = 0,26.$$

Если в выражение (1) подставить полученную зависи- мость для определения величины ( $T_{50}$ ) полученную выше и из полученного выражения выразить величину ( $t$ ) – время отставания, то в конечном итоге получим:

$$t = \frac{\frac{\alpha}{C_0^\beta} \cdot \left(1 + \frac{H}{H_T}\right)}{\left(\frac{\mathcal{E}_{\max}}{\mathcal{E}}\right) - 1}. \quad (9)$$

Подставляя в выражение (9) значения констант ( $\alpha, \beta, H_T, \mathcal{E}_{\max}$ ), получим уравнение кинетики отставания, учитывающее как влияние исходной концентрации биологической плёнки, так и глубину слоя, в котором происходит отставание, для сточных вод молокоперерабатывающих предприятий:

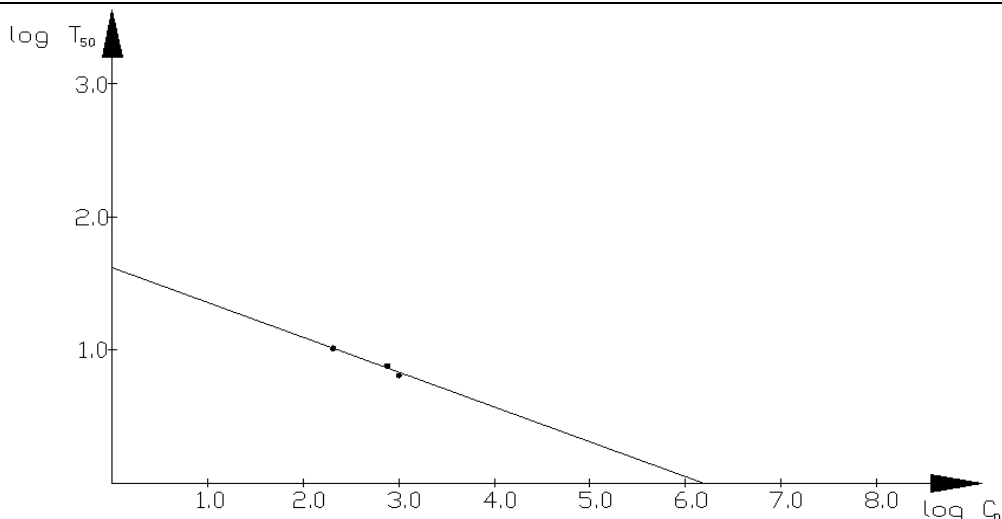


Рис. 3. График зависимости  $\log T_{50} = \log C_0$  для сточных вод молокоперерабатывающих предприятий

Таблица 1. Экспериментальные и расчётные данные по определению времени осаждения биологической плёнки

Эффект осветления $\mathcal{E}$ , %	Величина $t$ , мин при концентрации биологической плёнки $C_0$ мг/л, и различной высоте отстаивания $H$ , м									
	$C_0=1850$ мг/л $H=0,5$ м		$C_0=1850$ мг/л $H=1,0$ м		$C_0=1850$ мг/л $H=1,5$ м		$C_0=2050$ мг/л $H=1,0$ м		$C_0=2050$ мг/л $H=2,0$ м	
	экспер. данные	расч. данные	экспер. данные	расч. данные	экспер. данные	расч. данные	экспер. данные	расч. данные	экспер. данные	расч. данные
28	5	4,2	7	5,5	8	7,0	8	5,1	13	8,1
44	10	8,9	10	11,8	15	14,8	12	11,6	19	17,4
60	15	18,9	19	25,2	24	31,5	18	24,6	28	37,0
68	20	30,3	27	40,0	34	50,0	23	39,3	38	60,0
75	30	51,5	37	68,6	42	85,8	36	66,9	57	100,2
89	60	-	63	-	-	-	-	-	-	-

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Таким образом, в ходе обработки опытных данных и используя общую математическую модель кинетики отстаивания, были определены частные коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $H_T$  при отстаивании биологической плёнки в сточных водах молокоперерабатывающих предприятий.

Полученная математическая модель, в виде уравнения (10), позволяет получить удовлетворительную сходимость расчётных и опытных данных по осаждению биологической плёнки для данной категории сточных вод. Уравнение (10) рекомендуется использовать при расчёте вторичных отстойников различных типов, что позволит более правильно и в полной мере следовать всем заданным технологическим параметрам работы сооружения.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Яромский В.Н., Ковальчук В.Л. Исследование процесса осаждения биологической плёнки в сточных водах молокоперерабатывающих предприятий // Вестник Брестского госуд. технич. университета. – 2004. - №2. – С. 69-72.
2. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. / Госстрой СССР. – М. ЦИТП Госстроя СССР. – 1986. – 72 с.
3. Скирдов И.В. Кинетика отстаивания взвешенных веществ сточных вод / Водоснабжение и санитарная техника. – 1993. - №6. – С. 4-6.

$$t = \frac{42}{C_0^{0,26}} \cdot (1 + H) \cdot \left( \frac{88}{\mathcal{E}} \right) - 1 \tag{10}$$

Сходимость данных, полученных экспериментальным путём [1], и результатов расчётов полученных по выражению (10), представлены в таблице 1.

Как следует из таблицы, наиболее близкие расчётные и опытные данные могут быть получены при эффекте осветления равном 60-70%, что соответствует достаточно высокой величине осветления. При увеличении эффекта осветления свыше 70% и приближении его к максимальному ( $\mathcal{E}_{\max}=88\%$ ), сходимость результатов ухудшается. Данный факт можно объяснить тем, что за время равное 25÷30 минут успевает осесть 30-50% биологической плёнки с гидравлической крупностью ( $u$ ) равной 1-3 мм/с [1], что соответствует первоначально принятой величине  $T_{50}$  – времени осаждения 50% взвешенных веществ. Для осаждения биологической плёнки с  $u < 1$  мм/с, составляющей 60-70% от общего количества биологической плёнки, этого времени не достаточно.