

ISSN 2079-8199

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

# ВЕСТНИК

Санкт-Петербургского государственного  
университета технологии и дизайна

научный журнал

**Серия 1**  
ЕСТЕСТВЕННЫЕ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

**№ 3**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ ■ 2 0 2 2**

## **Вестник**

Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна  
№ 3. 2022. Серия 1. Естественные и технические науки

Научный журнал

Учредитель и издатель — Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна

## **Главный редактор**

А. В. Демидов

## **Заместители главного редактора**

А. Г. Макаров, Н. П. Новоселов

## **Члены редколлегии серии:**

В. И. Пименов (отв. ред.), Э. Л. Аким, А. В. Архипов, Р. Ф. Витковская, М. В. Воронов,  
И. П. Добровольская, А. Г. Захаров, Я. А. Ивакин, К. Г. Иванов, В. С. Куров,  
В. В. Максимов, А. В. Марковец, Н. Н. Мачелаба, Л. Н. Никитина, С. Д. Николаев, Д. А. Овсянников,  
П. М. Пахомов, К. Э. Разумев, П. П. Рымкевич, Е. Г. Семенова

## **Ответственный секретарь**

Л. В. Нижельская

## **Адрес редакции**

191186 Санкт-Петербург, Большая Морская, 18  
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
тел. (812) 3150489, (812) 3157470

## **Сайт**

<http://vestnik.sutd.ru>

## **Электронная почта**

[vestnikspbgutd@mail.ru](mailto:vestnikspbgutd@mail.ru)

## **Факс**

3157470

Решением ВАК журнал включен в перечень ведущих научных журналов и периодических изданий Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы результаты диссертационных работ на соискание степени кандидата и доктора наук.

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВПО СПГУТД, 191028 СПб., ул. Моховая, 26

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77 – 40892

Подписано в печать 02.09.22. Формат 60×84 1/8. Бумага кн.-журн.

Усл.-печ. л. 18,14. Тираж 1000 экз. Заказ № 95

А. Ж. Адылова, М. С. Строганова

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна  
191186 РФ, Санкт-Петербург, Большая Морская, 18**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ СКОРОСТИ ОКИСЛЕНИЯ  
ЛЕГКООКИСЛЯЕМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ  
ДЛЯ СТОЧНЫХ ВОД СУЛЬФАТ-ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

© А. Ж. Адылова, М. С. Строганова 2022

Работа посвящена исследованию качества воды в месте выпуска сточных вод от предприятия, производящего сульфатную целлюлозу. Приведены результаты химических и микробиологических исследований, построены зависимости взаимовлияния биохимического потребления кислорода за разные промежутки времени, растворенного кислорода и содержания микроорганизмов, участвующих в процессах биохимического окисления. Рассчитаны константы скорости окисления легкоокисляемых органических веществ для сточных вод сульфат-целлюлозного предприятия в зонах начального и основного разбавления.

**Ключевые слова:** константа скорости окисления, органические вещества, сточные воды ЦБП, сульфат-целлюлозное предприятие, БПК, растворенный кислород, микроорганизмы.

**Введение**

Целевыми показателями качества сточных вод сульфат-целлюлозного предприятия являются биохимическое потребление кислорода (БПК), химическое потребление кислорода (ХПК), взвешенные вещества, азот общий, фосфор общий, согласно справочнику ИТС 1 НДТ [1]. После попадания очищенных стоков в водный объект, начинаются процессы трансформации и биохимического окисления органического вещества, если говорить о неконсервативных соединениях. Консервативные соединения, к примеру, взвешенные вещества, подвергаются рассеиванию в толще воды и последующему осаждению. Процессы трансформации и биохимического окисления веществ следует отслеживать от места выпуска сточных вод до контрольного створа водного объекта с целью нормирования сбросов сточных вод от предприятия.

Состав промышленных сточных вод сульфат-целлюлозного предприятия характеризуется большим содержанием легкоокисляемых и трудноокисляемых органических соединений. Совокупность легкоокисляемых соединений выражена в показателе БПК, который характеризует количество кислорода, израсходованное на аэробное окисление под действием микроорганизмов [2]. В процессах окисления напрямую участвуют микроорганизмы, которые потребляют органические соединения и тратят на дыхание растворенный кислород.

Скорость, с которой растворенный кислород потребляется микроорганизмами в природной воде или воде, загрязненной органическими веществами, впервые была изучена Фелпсом и Стритером [3]. В ходе исследования получено, что биохимическое окисление протекает примерно так же, как мономолекулярная химическая реакция, то есть скорость приблизительно пропорциональна остающейся концентрации неокисленного органического вещества. Изменение пока-

зателя БПК и количества кислорода в воде по схеме Фелпса-Стритера при коэффициентах биохимического окисления ( $k_1$ ) реаэрации ( $k_2$ ) описывается системой уравнений (1):

$$\frac{dC_{БПК}}{dt} = -k_1 \cdot C_{БПК}$$

$$\frac{dC_{O_2}}{dt} = -k_1 \cdot C_{БПК} + k_2 \cdot (C_{O_{2np}} - C_{O_2}) \quad (1)$$

где  $C_{БПК}$  — концентрация органических загрязнений по БПК, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{O_2}$  — концентрация растворенного в воде кислорода, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{O_{2np}}$  — предельное содержание растворенного в воде кислорода при данной температуре, мг/дм<sup>3</sup>;  $k_1$  — коэффициент биохимического окисления, сут<sup>-1</sup>;  $k_2$  — коэффициент реаэрации, сут<sup>-1</sup>;  $t$  — время, сут.

**Основная часть проведения исследований**

Исследования по оценке параметров окисления легкоокисляемых органических веществ проводились в марте 2021 года в зоне влияния глубинного рассеивающего водовыпуска сточных вод от сульфат-целлюлозного предприятия в водный объект. На основании данных, полученных в результате анализа проб воды, были рассчитаны константы окисления органических веществ.

На рис. 1 представлена схема расположения точек отбора проб и контроля качества воды [4]. Исследования проведены по всем выходным патрубкам рассматриваемого выпуска.

На рисунке 2 представлены этапы проведения исследований по оценке параметров скорости биохимического окисления.

Согласно представленной схеме проведены измерения уровня растворенного кислорода в зонах начального и основного разбавления очищенных сточных вод, отводимых из систем очистки предприятия

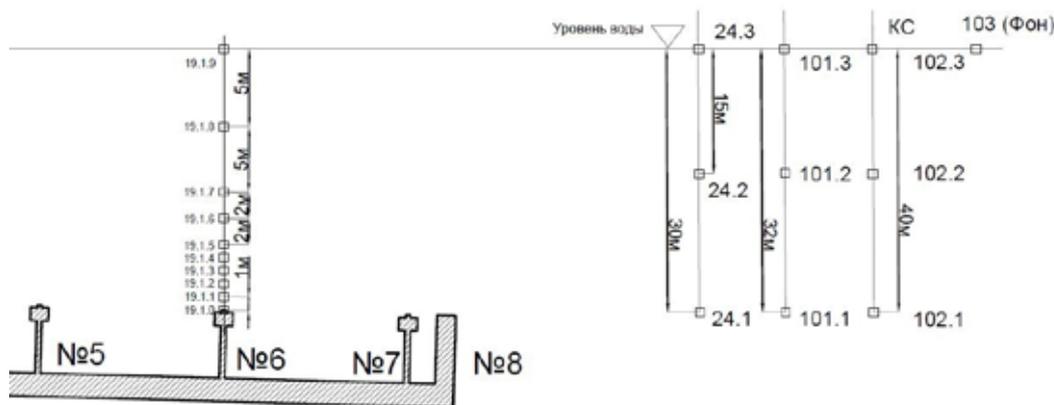


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб и контроля качества воды

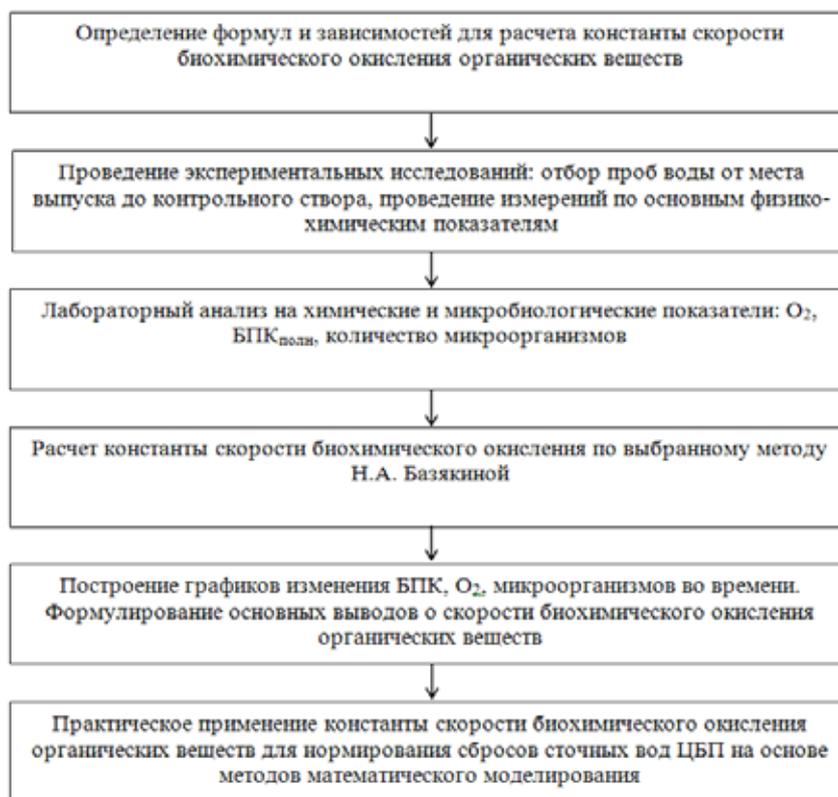


Рис. 2. Блок-схема проведения исследований по оценке скорости биохимического окисления органических веществ

в водный объект. Измерения проводились с помощью многофункционального прибора оксиметр марки Nash HQ30d, который позволяет определить концентрацию растворенного кислорода, температуру воды в нужный момент времени.

В таблицах 1 и 2 представлены значения уровня растворенного кислорода в 1, 3, 5 и последний день анализа.

В табл. 1 представлены результаты оценки процесса окисления легкоокисляемых органических веществ дальше от патрубков, в зоне основного разбавления. Окисление происходит до 20 суток.

В табл. 2 представлены значения уровня растворенного кислорода, полученные в зоне начального разбавления сточных вод предприятия. Получено, что

Таблица 1. Результаты изменения уровня растворенного кислорода в зоне основного разбавления сточных вод предприятия

№ пробы	O <sub>2</sub> на 1 сутки мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> на 3 сутки мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> на 5 сутки мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> на 20 сутки мг/дм <sup>3</sup>
24.1	12,84	-	11,29	-
24.2	12,65	-	11,16	-
24.3	13,09	-	10,40	-
101.1	13,40	11,70	11,71	9,24
101.2	12,92	11,36	11,20	9,15
101.3	13,09	11,00	10,88	8,85
102.1	12,65	11,35	11,38	10,04
102.2	12,79	11,59	11,46	8,80
102.3	13,10	12,25	11,51	9,20
103	12,93	12,93	11,22	-

**Таблица 2.** Результаты изменения уровня растворенного кислорода в зоне начального разбавления сточных вод предприятия

№ пробы	O <sub>2</sub> на 1 сутки, мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> на 3 сутки, мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> на 5 сутки, мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2</sub> на последние сутки, мг/дм <sup>3</sup>
19.1.0	9,12	6,07	4,33	1,48 (12 сутки)
19.1.1	8,98	-	4,65	
19.1.2	9,13	6,75	5,41	2,90 (14 сутки)
19.1.3	10,81	-	6,41	-
19.1.4	10,38	-	5,98	-
19.1.5	10,28	-	7,56	-
19.1.6	12,98	-	10,78	-
19.1.7	12,31	-	10,60	-
19.1.8	12,89	-	10,98	-
19.1.9	11,58	10,83	10,02	8,94 (20 сутки)

на разных удалениях от выпускного патрубка скорость потребления растворенного кислорода растет от выпуска к поверхности водного объект. При проведении анализа в кислородной склянке получено, что растворенный кислород тратится на окисление с разной скоростью в зависимости от температуры и концентрации микроорганизмов, а также от значения биохимического потребления кислорода, характеризующего легкоокисляемую фракцию органических соединений.

Для более точной оценки скорости окисления проведен анализ, называемый быстрой кинетикой с меньшим интервалом времени. С целью сравнения значений скорости окисления легкоокисляемых органических веществ по часам для фильтрованной и нефилтрованной проб очищенной сточной воды сульфат-целлюлозного предприятия проведены лабораторные исследования на показатели БПК и растворенный кислород в течение 8, 12, 24 и 48 часов при разбавлении природной водой в 20 и в 30 раз при температуре 20 °С. Лабораторный анализ на показатель БПК<sub>полн</sub> проведен основе метода Винклера, или метода йодометрического титрования согласно ПНД Ф 14.1:2.101–97.

Данный анализ позволяет условно оценить количество микроорганизмов на участке от выпуска сточных вод до контрольного створа. Результаты исследования представлены в табл. 3.

Показатели БПК в фильтрованной и нефилтрованной пробах при разбавлении 1:20 значительно варьируются в зависимости от времени. В первые 10 часов анализа в нефилтрованной пробе наблюдаются значения БПК выше в 3 раза, чем в фильтрованной, что

подтверждает наличие сапрофитных микроорганизмов, потребляющих легкоокисляемое органическое вещество и растворенный кислород в качестве продукта дыхания. При разбавлении 1:30 данная закономерность отсутствует. По результатам быстрой кинетики было выявлено, что преобладающими колониями микроорганизмов в месте выпуска сточных вод в водный объект, то есть в месте начального разбавления сточных вод, являются микроорганизмы активного ила из очистных сооружений.

Анализ микроорганизмов проведен методом Коха, методом высева на питательных средах на основе мясопептонного агара в чашках Петри [5]. По результатам микробиологического анализа в фильтрованной пробе зафиксировано меньшее количество микроорганизмов, чем в нефилтрованной пробе.

С целью сравнения результатов скоростей окисления легкоокисляемых органических веществ не только в зависимости от потребления растворенного кислорода на окисление, но и от скорости течения воды, включая процессы разбавления и перемешивания водных масс, что влияет на качество воды в контрольном створе водного объекта, проведена оценка процессов окисления по всей глубине.

На рис. 3 представлены зависимости изменения показателей БПК<sub>5</sub>, растворенного кислорода и микроорганизмов от глубины для патрубка 6 согласно рис. 1.

Получено плавное уменьшение концентрации растворенного кислорода в зависимости от глубины. Значение БПК увеличивается с глубиной, вследствие осаждения органических веществ, поступающих в водный объект с очищенными сточными водами. Отсутствие прямой зависимости количества сапрофитных микроорганизмов от глубины объясняется постоянной изменчивостью факторов, влияющих на их сообщество, таких как температурный и кислородный режимы, содержание органических веществ, а также от гидрологических условий водного объекта.

На основании данных, полученных в результате исследования проб воды, рассчитаны константы окисления органических веществ. Методологической основой для расчета были взяты формулы, представленные в работе Н. А. Базякиной [6].

Н. А. Базякина предложила зависимость, основанную на использовании значений биохимического потребления кислорода от времени:

$$k_1 = -t^{-1} \lg \left[ \frac{C'_{2t}}{C_t} - 1 \right], \quad (2)$$

где C<sub>t</sub> и C<sub>2t</sub> — значения БПК в момент времени t и 2t, t — время, сут.

**Таблица 3.** Быстрая кинетика по показателям БПК и O<sub>2</sub> двух разбавлениях

Время, час	Быстрая кинетика в разбавлении 1:30				Быстрая кинетика в разбавлении 1:20			
	O <sub>2ф</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2нф</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>ф</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>нф</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2ф</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	O <sub>2нф</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>ф</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	БПК <sub>нф</sub> , мг/дм <sup>3</sup>
0	5,94	6,68	-	-	6,12	8,06	-	-
6	5,44	6,45	0,5	0,23	5,76	6,84	0,36	1,22
10	5,6	6,2	0,34	0,48	5,57	6,22	0,55	1,84
24	5,44	6,24	0,5	0,44	5,24	7,20	0,88	0,86
48	5,49	6,49	0,45	0,19	5,24	7,73	0,88	0,33

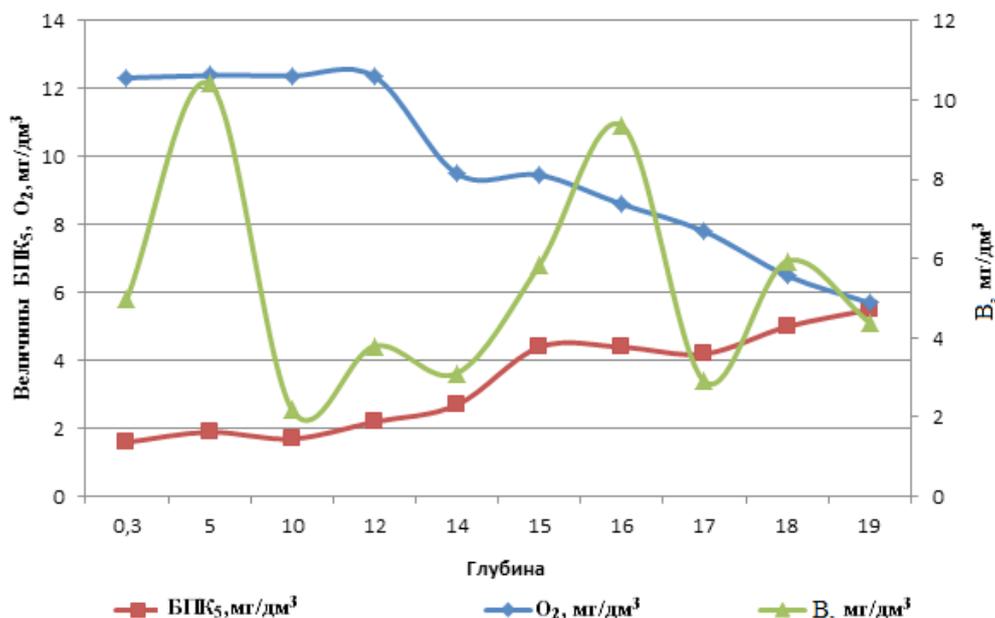


Рис. 3. Величины БПК<sub>5</sub>, O<sub>2</sub> и содержания микроорганизмов (V) от глубины

В качестве исходных данных для расчета послужили результаты анализа проб в аналитической лаборатории канализационных очистных сооружений исследуемого предприятия. В точке 19 (у 6 патрубка) расчет констант окисления был произведен для различных интервалов времени, обусловленных характером изменения показателей в исследуемой пробе. Для определения данных интервалов был построен график сравнения показателей БПК, растворенного кислорода и концентрации микроорганизмов от времени в зоне начального разбавления (рис. 4).

По полученному графику видно, что с течением времени изменение исследуемых показателей имеет скачкообразный характер с разными интервалами времени. Так, в промежутке с первых по четвертые сутки наблюдается интенсивное увеличение показателя БПК. Данное обстоятельство вызвано активным размножением микроорганизмов в среде, насыщенной кислородом.

В течение второго промежутка времени — с пятых по десятые сутки — активное окисление органических веществ замедляется, концентрация растворенного кислорода уменьшается ниже 6 мг/дм<sup>3</sup>. Количество микроорганизмов на конец интервала, десятые сутки, занимает максимальное значение, равное 10 мг/дм<sup>3</sup>, после чего стремительно уменьшается. На следующем интервале — с одиннадцатых по восемнадцатые сутки — происходит выравнивание значений показателей БПК и растворенного кислорода вследствие установления баланса между концентрацией растворенного кислорода и содержанием неокисленных органических веществ. И в промежутке с девятнадцатых по двадцатые сутки концентрация микроорганизмов приближается к нулю, концентрация растворенного кислорода сокращается, а показате

ль БПК достигает своего максимума и обозначается как БПК<sub>полн</sub>.

Выявленные интервалы были использованы для расчета констант окисления по каждому интервалу (табл. 5).

Таблица 5. Расчетные значения констант окисления легко-окисляемых веществ по интервалам

Интервалы, сутки	Константа скорости окисления, сут <sup>-1</sup>
1–4	0,000
5–10	0,064
11–18	0,096
19–21	0,434

Временные интервалы были выбраны исходя из полученного графика изменения показателей БПК, кислорода и микроорганизмов (V) в пробе воды в течение 20 суток в зоне начального разбавления, представленного на рис. 4.

На основе полученных данных скоростей окисления органического вещества построена кривая констант окисления для показателя БПК по выбранным временным интервалам (рис. 5).

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что значение константы окисления увеличивается в процессе окисления и достигает максимума на двадцатые сутки со значением в 0,434 сут<sup>-1</sup> для показателя биохимического потребления кислорода.

В процессе исследования было проанализировано несколько групп точек. Для охвата всей водной толщны выбраны места отбора проб в разных горизонтах водного объекта, а также на различных удалениях от места выпуска сточных вод. Подробнее был рассмотрен

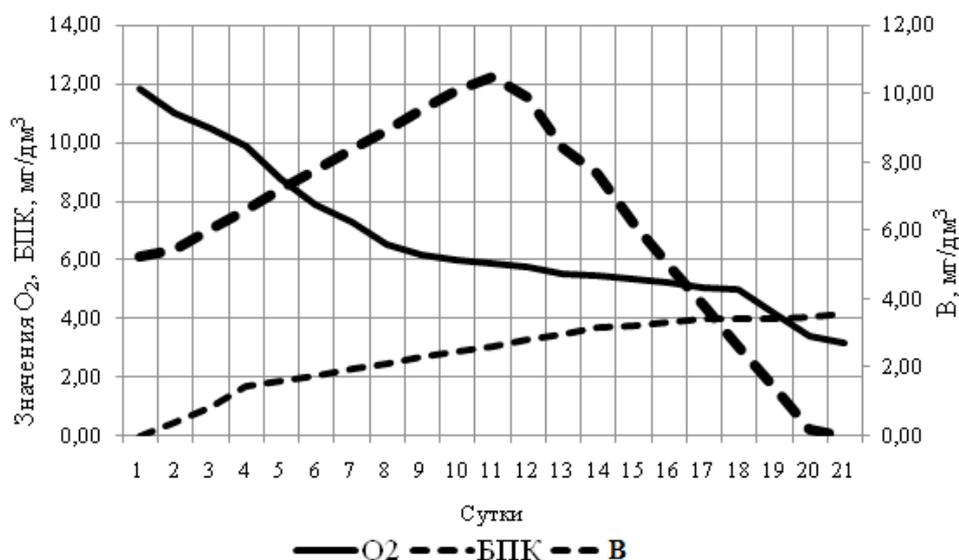


Рис. 4. График изменения показателей БПК, кислорода и микроорганизмов (V) в течение 20 суток в зоне начального разбавления

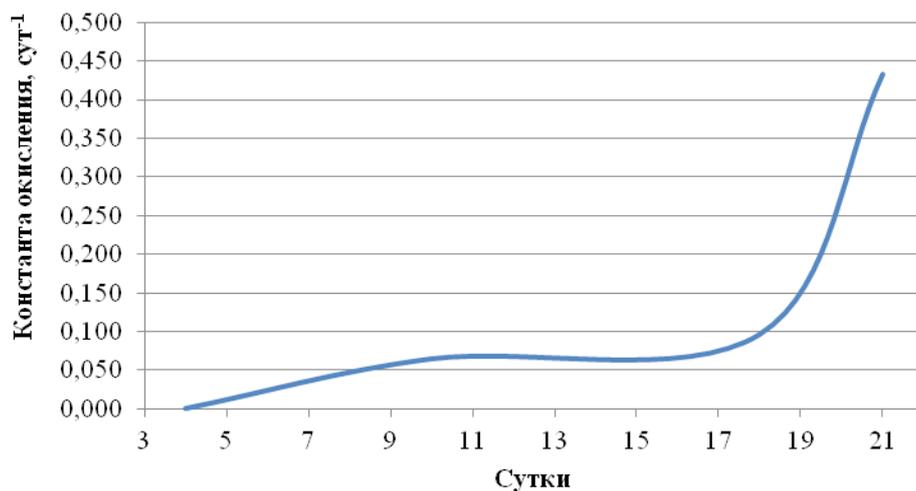


Рис. 5. Кривая констант окисления для показателя БПК по временным интервалам

Таблица 6. Расчетные значения констант окисления по временным интервалам

Место отбора проб	Номера точек	Глубина, м	t°C	V, мг/дм³	БПК <sub>3,2</sub> , мг/дм³	БПК <sub>5,2</sub> , мг/дм³	БПК <sub>повр.</sub> , мг/дм³	k, сут <sup>-1</sup> 3–5 сутки	k, сут <sup>-1</sup> 5–20 сутки
Фоновый створ	103	0,3	0,6	9,74		1,7	2,4		0,026
КС у дна	102/1	32	0,7	3,95	1,3		2,6	0,256	0,018
КС середина	102/2	15	0,6	5,19	1,2	2	4	0,088	0,001
КС поверхность	102/3	0	0,6	3,69	0,9	1,9	3,9	0,023	0,001
У дна	101/1	32	0,7	5,26	1,7	1,7	4,2		0,011
Середина	101/2	15	0,6	1,05	1,6	2,2	3,8	0,161	0,030
Поверхность	101/3	0	0,6	3,38	2,1	2,5	4,2	0,360	0,011
У дна	24/1	30	0,7	1,10	0,9	1,9	3,9	0,161	0,030
Середина	24/2	15	0,6	6,39		1,5			
Поверхность	24/3	0	0,6	5,87		1,6			
У патрубка № 6 с разных глубин	19/1/9	0,3	0,7	4,98	0,8	1,6	2,6	0,070	0,014
	19/1/2	17	9,7	2,90	2,6	4,2	6,6	0,092	0,016
	19/1/0	19	14,3	4,39	3,7	5,5	8,4	0,105	0,022

\*КС — контрольный створ в водном объекте

один из патрубков. Результаты исследований по точкам занесены в табл. 6 согласно рис. 1.

Группа точек 19 располагается непосредственно над 6-м патрубком на глубинах 0,3 метра от поверхности, 17 метров и 19 метров соответственно. С увеличением глубины наблюдается характерное увеличение константы окисления легкоокисляемого органического вещества. Об этом также свидетельствует увеличение значения БПК<sub>полн</sub> за счет деятельности микроорганизмов, поступающих в водный объект с очищенными сточными водами. Точка 19/1/0 расположена непосредственно над патрубком, количество микроорганизмов в данной точке максимально.

Группа точек 24 расположена на расстоянии 30 метров от 7-го патрубка в направлении на юг и имеют глубину отбора соответственно 0,15 и 30 метров. Значение коэффициента окисления по БПК на пятый день составляет 0,161 сут<sup>-1</sup> и снижается до значения 0,03 сут<sup>-1</sup> на двадцатый день анализа, что говорит о низких концентрациях легкоокисляемого органического вещества и высокой скорости водообмена в водном объекте.

Группа точек 101 расположены на расстоянии 250 метров на юг от водосброса на глубине 0,3 метра, 15 метров и 30 метров соответственно и характеризуются коэффициентами окисления в диапазоне от 0,011 до 0,030 сут<sup>-1</sup> на двадцатые сутки. Точка 102 является контрольным створом и расположена на расстоянии в 500 метров в направлении течений от водовыпуска. Значение коэффициентов окисления для БПК<sub>полн</sub> равно 0,001–0,018 сут<sup>-1</sup>. Точка 103 расположена на расстоянии 1500 метрах от водовыпуска и соответствует фоновому створу. Скорость окисления легкоокисляемых органических соединений равна 0,026 сут<sup>-1</sup>.

### Заключение

В ходе работы проанализированы основные труды ученых в области биохимических процессов, протекающих в водоеме и очистных сооружениях промышленных предприятий, где одним из специфических показателей является БПК.

На основе анализа выделен метод расчета константы скорости окисления по уравнению Базякиной Н. А., как наиболее подходящий для данного типа рассматриваемой системы «предприятие — водный объект».

В работе были получены и проанализированы данные сульфат-целлюлозного предприятия по образованию и очистке сточных вод. В марте 2021 года были выполнены исследования на базе лаборатории очистных сооружений предприятия. Отобрано и проанализировано 40 проб воды в зонах начального и основного разбавления сточных вод на показатели растворенный кислород, БПК по временным интервалам, количество микроорганизмов, температура и глубина.

Построены зависимости между значениями БПК, кислородом и микроорганизмов во времени с учетом температурного режима. Установлена взаимосвязь между содержанием микроорганизмов и значением БПК.

На основании полученных результатов лабораторного анализа на ряд показателей рассчитаны константы окисления органических веществ сточных вод для зон начального и основного разбавления по формуле Базякиной Н. А. Установлен характер изменения константы окисления в зависимости от времени, то есть скорости окисления легкоокисляемых органических веществ, что является необходимым для проведения расчетов и уточнения нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ после очистки и корректировки технологических нормативов очистных сооружений и предприятия.

Полученные константы окисления органических веществ позволят моделировать процессы конвективно-диффузионного переноса и превращения веществ в водоемах при отведении сточных вод от целлюлозного предприятия. В результате этих расчетов будет возможно прогнозировать распространение загрязненного неконсервативными примесями пятна от водовыпуска и устанавливать допустимые нормативы на сброс, при которых будет снижено воздействие предприятия на водную экосистему.

### Список литературы

1. ИТС 1 НДТ Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона» (утв. Приказом Росстандарта от 15.12.2015 № 1571. URL: <http://burondt.ru/NDT/docs/paper/index.html>
2. Шишкин А. И., Антонов И. В. Алгоритм обоснования НДС для предприятий целлюлозно-бумажной отрасли с применением геоинформационных технологий // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2017. № 3. С. 41–47.
3. Streeter H. W., Phelps E. B. A Study of the pollution and natural purification of the Ohio river. III. Factors concerned in the phenomena of oxidation and reaeration // U. S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service no. 146., 1958. 329 p.
4. Антонов И. В., Кушнеров А. И., Барххуев Х. О., Смирнов Л. В. Разработка информационно-технической системы оценки воздействия глубинных сбросов сточных вод. Науки о Земле и цивилизация. Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена. Санкт-Петербург: РГПУ им. А. И. Герцена, 2021. С. 85–92.
5. Каменская Е. П., Аверьянова Е. В. Количественный учет микроорганизмов: методические рекомендации. Бийск: Изд-во Алт. гос. тех. ун-та, БТИ, 2007. 35 с.
6. Базякина Н. А. Расчет константы скорости потребления кислорода при определении БПК сточной жидкости // Санитарная техника. 1933. № 2. С. 17–24.

**A. Zh. Adylova, M. S. Stroganova**

Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design  
191186 Russia, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 18

**DETERMINATION OF THE OXIDATION RATE CONSTANT OF EASILY OXIDIZED ORGANIC SUBSTANCES FOR WASTEWATER OF SULFATE-PULP MILL**

The work is devoted to the study of water quality at the place of wastewater discharge from a mill producing sulfate pulp. The results of chemical and microbiological studies are presented; the dependences of the mutual influence of biochemical oxygen consumption for different periods of time, dissolved oxygen and the content of microorganisms involved in the processes of biochemical oxidation are constructed. The rate constants of oxidation of easily oxidized organic substances are calculated for wastewater from sulfate-pulp mill in the zones of initial and basic dilution.

**Keywords:** oxidation rate constant, organic substances, waste water of the pulp and paper mill, sulfate-pulp mill, BOD, dissolved oxygen, microorganisms.

**References**

1. ITS 1 NDT Information and technical handbook on the best available technologies «Production of pulp, wood pulp, paper, cardboard» (approved by Order of Rosstandart dated 15.12.2015 No. 1571. URL: <http://buroNTD.ru/NDT/docs/paper/index.html> (in Rus.).
2. Shishkin A. I., Antonov I. V. Algorithm of VAT justification for pulp and paper industry enterprises using geoinformation technologies // Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. 2017. No. 3. pp. 41–47 (in Rus.).
3. Streeter H. W., Phelps E. V. A Study of the pollution and natural purification of the Ohio river. III. Factors concerned in the phenomena of oxidation and reaeration. U. S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service no. 146., 1958. 329 p.
4. Antonov I. V., Kushnerov A. I., Barkhiev H. O., Smirnov L. V. Development of an information and technical system for assessing the impact of deep wastewater discharges. Earth sciences and civilization. SPb: A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, 2021. pp. 85–92 (in Rus.).
5. Kamenskaya E. P., Averyanova E. V. Quantitative accounting of microorganisms: methodological recommendations. Biysk: Publishing house of Alt. state Tech. un-ta, BTI, 2007. 35 p. (in Rus.).
6. Bazyakina N. A. Calculation of the oxygen consumption rate constant when determining the BOD of a waste liquid // Sanitary engineering. 1933. No. 2. pp. 17–24 (in Rus.).

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

<b>А. В. Шатохин, Я. А. Ивакин, С. А. Крицкий, С. Н. Потапычев</b> Применение компьютерного моделирования для построения систем освещения подводной обстановки . . . . .	5
<b>Десницкий В. А.</b> Моделирование и визуальный анализ атак типа Denial-of-Sleep в беспроводных сенсорных сетях . . . . .	14
<b>Л. А. Виткова, Н. А. Крестьяшин</b> Методика обнаружения sql-уязвимостей web-интерфейса . . . . .	22
<b>В. В. Пучков, Е. Д. Едемская, Л. А. Виткова</b> Методика обнаружения уязвимостей в сети умного дома . . . . .	29
<b>А. А. Попов, О. В. Фёдорова, А. Ю. Цветков</b> Исследование современных механизмов обеспечения защиты конечных устройств под управлением ОС семейства Linux от атак с использованием rootkit . . . . .	36
<b>С. И. Штеренберг, Ю. С. Данилова</b> Разработка методики внедрения скрытой подписи кода в GitLab . . . . .	44
<b>А. В. Красов, Н. В. Паскидов, А. С. Салита</b> Использование методов машинного обучения при выявлении сетевой стеганографии . . . . .	50
<b>Г. Л. Виноградова, О. В. Щекочихин</b> Возможности нотации BPMN при моделировании процессов в области информационной безопасности . . . . .	54
<b>М. А. Каневский</b> Применение искусственного интеллекта для успешной обработки поисковых запросов пользователей в онлайн-магазинах модной одежды . . . . .	58
<b>М. А. Каневский</b> Как поиск по изображениям трансформирует e-commerce в мире моды . . . . .	64
<b>ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>	
<b>К. И. Смышляева, К. А. Кузьмин, В. А. Рудко, В. Г. Поваров, И. Н. Пягай</b> Установление брутто-формул асфальтенов различного генезиса методами элементного анализа и криоскопии . . . . .	69
<b>И. В. Зыкова, В. А. Исаков</b> Исследование эффективности применения различных коагулянтов и флокулянтов при водоподготовке на целлюлозно-бумажных предприятиях . . . . .	77
<b>А. Ж. Адылова, М. С. Строганова</b> Определение констант скорости окисления легкоокисляемых органических веществ для сточных вод сульфат-целлюлозного предприятия . . . . .	82
<b>С. А. Якимов, А. В. Кокшаров, Е. В. Белых</b> Влияние режима варки на содержание смолы в лиственной сульфатной целлюлозе . . . . .	89
<b>Э. Р. Мкртчян</b> Организационно-технические и технологические аспекты развития рециклинга . . . . .	92
<b>И. В. Зыкова, В. А. Исаков</b> Исследование физико-химических свойств термоокисленного сапропеля . . . . .	96

<b>А. Е. Баранова, И. И. Осовская</b> Выделение и свойства агар-агара из красных морских водорослей . . . . .	100
<b>Н. А. Иванов, А. М. Киселев</b> Сорбция ароматических аминов смесовым текстильным материалом в процессе синтеза ковалентнофиксирующихся азокрасителей. . . . .	105
<b>С. С. Содикова, И. Н. Ганиев, Р. Х. Саидзода</b> Кинетика окисления сплавов системы Zn-Pb. . . . .	108
<b>У. Ш. Якубов</b> Влияние добавок бария на теплоемкость и термодинамические функции алюминиевого сплава АЖ5К10 . . . . .	114
<b>М. Э. Сиродждинов, И. Н. Ганиев, Дж. Х. Шарипов, З. Р. Обидов</b> Влияние таллия на анодное поведение сплава Zn55Al в кислых, нейтральных и щелочных средах. . . . .	120
<b>Фирузи Хамрокул, У. Р. Джобиров, И. Н. Ганиев, З. Р. Обидов</b> Кинетика окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного неодимом и эрбием . . . . .	126
<b>Е. Л. Лебедев, А. О. Репин</b> Влияние смазочных материалов на основе легкоплавких металлов на механические свойства шарикоподшипниковой стали ШХ 15 . . . . .	131
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ</b>	
<b>Д. А. Ковалёв В. А. Шаряков, Шарякова О. Л., Лебедева В. А</b> Синтез двухконтурной системы автоматического управления уровнем воды парового котла . . . . .	136
<b>В. И. Сидельников, И. В. Ремизова, А. В. Кокшаров</b> Приближенная математическая модель показателя прочности бумаги на примере сопротивления торцевому сжатию . . . . .	143
Сведения об авторах . . . . .	147
Информация для авторов . . . . .	151

## TABLE OF CONTENTS

### MATH MODELING. METHODS AND SYSTEMS OF INFORMATION SECURITY

<b>A. V. Shatokhin, Ya. A. Ivakin, S. A. Krinitsky, S. N. Potapychev</b> Application of computer modeling for the construction of underwater lighting systems. . . . .	5
<b>V. A. Desnitsky</b> Modeling and visual analysis of Denial-of-Sleep attacks in wireless sensor networks . . . . .	14
<b>L. A. Vitkova N. A. Krestianshin</b> Methodology for detecting sql vulnerabilities of the web interface . . . . .	22
<b>V. V. Puchkov, E. D. Edemskaya, L. A. Vitkova</b> Methodology for detecting vulnerabilities in the smart home network . . . . .	29
<b>A. A. Popov, O. V. Fedorova, A. Yu. Tsvetkov</b> Investigation of actual mechanisms to ensure the protection of terminal device running the Linux OS family from attacks using rootkit . . . . .	36
<b>S. I. Shterenberg, Yu. S. Danilova</b> Code Subscription Methodology in GitLab . . . . .	44
<b>A. V. Krasov, N. V. Paskidov, A. S. Salita</b> Using Machine Learning Methods to Detect Network Steganogra . . . . .	50
<b>G. L. Vinogradova, O. V. Shchekochikhin</b> The possibilities of BPMN notation in modeling processes in the field of information security . . . . .	54
<b>M. A. Kanevsky</b> Application of artificial intelligence to successful processing search requests of users in online fashion stores . . . . .	58
<b>M. A. Kanevsky</b> How visual search is transforming e-commerce in fashion . . . . .	64

### CHEMICAL SCIENCES

<b>K. I. Smyslyaeva, K. A. Kuzmin, V. A. Rudko, V. G. Povarov, I. N. Pyagay</b> Methodology for determining the molecular formulas of asphaltenes of different genesis . . . . .	69
<b>I. V. Zyкова, V. A. Isakov</b> Investigation of the effectiveness of the use of various coagulants and flocculants in water treatment at pulp and paper enterprises. . . . .	77
<b>A. Zh. Adylova, M. S. Stroganova</b> Determination of the oxidation rate constant of easily oxidized organic substances for wastewater of sulfate-pulp mill . . . . .	82
<b>S. A. Yakimov, A. V. Koksharov, E. V. Belykh</b> The effect of the cooking conditions on the resin content in hardwood sulfate pulp . . . . .	89
<b>E. R. Mkrtchyan</b> Organisational, technical and technological aspects of recycling development. . . . .	92
<b>I. V. Zyкова, V. A. Isakov</b> Investigation of the physico-chemical properties of thermally oxidized sapropel . . . . .	96
<b>A. E. Baranova, I. I. Osovskaya</b> Features of film-forming and gel-forming properties of seaweed agar. . . . .	100

<b>N. A. Ivanov, A. M. Kiselev</b>	
Sorption of aromatic amines by a mixed textile material in the synthesis of covalently fixed azo dyes .....	105
<b>S. S. Sodikova, I. N. Ganiev, R. H. Saidzoda</b>	
Oxidation kinetics of Zn-Pb system alloys .....	108
<b>U. Sh. Yakubov</b>	
Effect of barium additives on the heat capacity and thermodynamic functions of alfe5si10 aluminum alloy .....	114
<b>M. E. Sirojiddinov, I. N. Ganiev, J. H. Sharipov, Z. R. Obidov</b>	
Effect of thallium on the anodic behavior of Zn55Al alloy in acid, neutral and alkaline environments .....	120
<b>Firuzi Hamroqul, U. R. Jobirov, I. N. Ganiev, Z. R. Obidov</b>	
Kinetics of oxidation of Zn0.5Al Zinc alloy, doped with neodymium and erbium .....	126
<b>E. L. Lebedev, A. O. Repin</b>	
The influence of lubricants based on low-melting metals on the mechanical properties of ball bearing steel ShX 15 .....	131
<b>AUTOMATION AND MANAGEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND PRODUCTION</b>	
<b>D. A. Kovalev, V. A. Sharyakov, O. L. Sharyakova, V. A. Lebedeva</b>	
Synthesis of a two-circuit automatic water level control system for a steam boiler .....	136
<b>V. I. Sidelnikov, I. V. Remizova, A. V. Koksharov</b>	
Approximate mathematical model of the paper strength index on the example of resistance to end compression .....	143
Authors list .....	149
Information for authors .....	151