

Помощник технолога: примеры использования ПО «ПОТЕНЦИАЛ»

Исследование выполнено с применением программного обеспечения, созданного в рамках договора № 4951ГС1/85526 между ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» и ООО «ЭкоСмарт».



«ПОТЕНЦИАЛ» – ПОМОЩНИК ТЕХНОЛОГА – ЦИФРОВАЯ АЛЬТЕРНАТИВА

**О. В. ХАРЬКИНА¹,
ООО «АРХИТЕКТУРА ВОДНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ»**

**С. В. СТЕПАНОВ²,
П. П. АВДЕЕНКОВ³,
САМАРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**М. В. ЛАЗУНИН⁴,
ООО «ЭКОСМАРТ»**

**Ю. А. ЕГОРОВА⁵,
О. И. НЕСТЕРЕНКО⁶,
Т. А. СТРЕЛКОВА⁷,
ООО «САМАРСКИЕ
КОММУНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ»**

В статье представлено программное обеспечение «ПОТЕНЦИАЛ», симулятор процесса очистки сточных вод на канализационных очистных сооружениях. «ПОТЕНЦИАЛ» моделирует и рассчитывает сооружения с учетом схемы потоков, конструктивных и технологических решений сооружений, качественных и количественных параметров поступающих сточных вод, их кинетических характеристик и требований к качеству очищенной воды. Обеспечивается возможность решать технологические проблемы эксплуатации, в том числе во внештатных и аварийных ситуациях. Приведены примеры работы на городских очистных сооружениях г. Самары, показавшие корректность работы. Относительная погрешность расчетов ПО «ПОТЕНЦИАЛ» качества очищенных сточных вод в сравнении с фактическими анализами составила менее 8 %.

¹ Харькина Оксана Викторовна, канд. техн. наук, главный технолог, ООО «Архитектура Водных Технологий»; руководитель секции «Отведение и очистка сточных вод» Экспертно-технологического совета РАВВ; член НТС ЖКХ Московской области, тел.: +7 (495) 989-51-54, e-mail: okh@watertec.ru

² Степанов Сергей Валериевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Самарский государственный технический университет, тел.: +7 (846) 339-14-11, e-mail: stepanovsv3@yandex.ru

³ Авдеенков Павел Павлович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Самарский государственный технический университет, тел.: +7 (846) 339-14-11, e-mail: avdeenkovpp@mail.ru

⁴ Лазунин Максим Владимирович, программист ООО «ЭкоСмарт», тел.: +7 (800) 301-21-30, e-mail: artseven@mail.ru

⁵ Егорова Юлия Анатольевна, директор по качеству ООО «Самарские коммунальные системы», тел. +7 (846) 207-24-08, e-mail: yegorova@samcomsys.ru

⁶ Нестеренко Ольга Игоревна, ведущий инженер Управления главного технолога ООО «Самарские коммунальные системы», аспирант кафедры «Водоснабжение и водоотведение», Самарский государственный технический университет, тел. +7 (846) 207-24-08, e-mail: onesterenko@samcomsys.ru

⁷ Стрелкова Татьяна Александровна, руководитель группы Управления главного технолога ООО «Самарские коммунальные системы», тел. +7 (846) 338-04-87, tstrelova@samcomsys.ru

ВВЕДЕНИЕ

Стабильное обеспечение требуемого качества очищенной воды при минимизации капитальных и эксплуатационных затрат является основной целью реконструкции/нового строительства канализационных очистных сооружений (КОС). Основные причины недостижения требуемого качества очищенной воды, как показывает опыт, следующие:

- несоответствие реальных и проектных данных качественного и количественного состава поступающих сточных вод;
- некорректные проектные решения;
- некорректное оборудование – проблемы как технической надежности, так и обеспечения заявляемых технологических характеристик;
- неэффективная эксплуатация сооружений.

Программный продукт «ПОТЕНЦИАЛ» (ПОмощник ТЕХнолога – ЦИфровая АЛЬтернатива) позволяет корректно и оперативно оценить причину несоответствия текущих качественных показателей очищенной воды требованиям, заложенным в проект, и выдать численные рекомендации оптимизации режима эксплуатации КОС. Симулятор процесса очистки сточных вод на КОС в режиме реального времени на основании непрерывно выполняемых расчетов дает возможность численно оценить ситуацию и выдает, при необходимости, численные рекомендации об изменении эксплуатационного режима работы сооружений. ПО «ПОТЕНЦИАЛ» обеспечивает оптимальное управление очистными сооружениями в реальных условиях эксплуатации.

Помимо решения «прямой» задачи, когда по качественным и количественным показателям поступающих сточных вод и требуемому качеству очищенной воды рассчитывается проектное решение сооружений, данная модель позволяет решать и «обратную» задачу. По заложенным проектным решениям объектов, реальным качественным и количественным характеристикам поступающей сточной воды, а также качественным параметрам очищенной воды есть возможность рассчитать оптимальные эксплуатационные параметры работы сооружений,

обеспечивающие максимально возможную для конкретных условий эффективность работы КОС. Следует отметить, что при корректных проектных решениях и параметрах поступающих сточных вод, которые укладываются в проектные значения, стабильное достижение требуемого качества очищенной воды при эффективной эксплуатации не вызывает проблем вне зависимости от того, насколько жесткие требования предъявляются к очищенной воде.

Как помощник технолога, ПО «ПОТЕНЦИАЛ» определяет расчетное качество очищенной воды, которое должны обеспечивать данные сооружения при фактическом режиме эксплуатации и параметрах поступающих сточных вод. Затем ПО сравнивает полученное расчетное качество с фактическим и требуемым качеством, выявляет причины недостижения требуемого качества (или предела технологической эффективности) и выдает количественные рекомендации по корректировке эксплуатационного режима.

Выдаваемые рекомендации предусматривают поддержание в рамках установленных нормативов всех технологических показателей качества очищенной воды – БПК₅, аммония, нитритов, нитратов, фосфатов и взвешенных веществ – при корректном проектном решении. При изменении входных показателей очищенной воды и(или) некорректных проектных решениях, реализуется задача поддержания качества очищенной воды с учетом максимально возможной эффективности работы сооружений.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Математический аппарат (блок Потенциал_БИО [1]) основан на разработанной авторами настоящей статьи Харьковской О. В., Степановым С. В. и Авдеенковым П. П. модели расчета сооружений биологической очистки сточных вод, базирующейся на фундаментальных закономерностях ферментативной кинетики. Этот алгоритм уже был реализован в виде таблиц *Microsoft Office Excel* и многократно проверен при проведении исследований, расчетов и проектировании канализационных очистных сооружений [2–6].

Базовыми уравнениями, которые описывают ферментативные биохимические процессы, в том числе и процессы биологической очистки сточных вод, являются уравнения классической методики М-ММ (Моно и Михаэлиса-Ментен), которые, в том числе, заложены в моделях ASM и уравнениях модели ВОДГЕО/СамГТУ. Если говорить в общем о классе моделей, то теоретические (математические) модели описывают рассматриваемые процессы и(или) объекты исходя из теории самого процесса и функционирования объекта. Теоретический подход к построению моделей основан на описании сути рассматриваемых процессов на языке физически интерпретируемых уравнений. Параметры, используемые в теоретических моделях, имеют физический, химический и биологический смысл, и могут быть определены (измерены) непосредственно.

Уравнение Моно описывает зависимость скорости роста микроорганизмов $\mu(S)$ от концентрации субстрата S :

$$\mu(S) = \mu_{\max} \frac{S}{K_s + S}, \quad (1)$$

где $\mu_{\max}$ – максимальная скорость роста микроорганизмов; K_s – константа полунасыщения по субстрату S (константа, равная концентрации субстрата, при которой скорость роста равна половине максимальной).

Уравнение Михаэлиса-Ментен описывает скорость образования продукта в ходе катализируемой реакции одного субстрата и одного продукта:

$$v(S) = V_{\max} \frac{S}{K_m + S}, \quad (2)$$

где $V_{\max}$ – предельная скорость образования продукта при насыщающей концентрации субстрата S ; K_m – концентрация субстрата S , при которой скорость $v(S)$ равна половине максимальной, то есть, когда $v(S) = \frac{V_{\max}}{2}$ (константа Михаэлиса).

Данные уравнения лежат в основе всех теоретических методик расчета аэротенков, в том числе, и методика расчета аэротенков на аэробное окисление органических соединений, изложенная в СНиП 2.04.03-85, апробированная и доказавшая свою корректность

на тысячах КОС нашей страны, также основана на данных уравнениях.

Разработанная авторами данной статьи методика позволяет рассчитывать:

1. Объемы аэробной зоны аэротенка, работающего по схеме удаления азота и фосфора, определяется через следующие расчетные параметры:

- значение аэробного возраста активного ила для достижения требуемого качества очищенной воды по аммонии с учетом температуры, концентрации растворенного кислорода, щелочности, кинетических характеристик активного ила и скорости распада микроорганизмов;

- значение аэробного возраста активного ила для достижения требуемого качества очищенной воды по нитритам с учетом температуры, концентрации растворенного кислорода, кинетических характеристик активного ила и скорости распада микроорганизмов;

- скорость аэробного окисления органических соединений с учетом температуры, концентрации растворенного кислорода, концентрации субстрата и процессов ингибирования;

- скорость процессов нитрификации 1-й стадии с учетом температуры, концентрации растворенного кислорода, концентрации субстрата и щелочности.

2. Объемы зоны денитрификации рассчитываются через скорости процессов денитрификации с учетом температуры, концентрации растворенного кислорода в аноксидной зоне, концентрации органического субстрата, концентрации азота нитратов и процессов ингибирования.

3. Объемы анаэробной зоны рассчитываются через скорости потребления ацетата с учетом температуры.

4. Необходимые значения рециклов возвратного активного ила и нитратного рецикла для обеспечения, в том числе требуемой эффективности снижения азота нитратов.

5. Необходимые значения анаэробного рецикла для обеспечения, в том числе необходимой эффективности процесса биологического удаления фосфора.

6. Необходимый текущий расход воздуха с учетом требуемого количества кислорода на аэробные биохимические процессы, эффективности аэрационной системы и конструктивных характеристик аэробной зоны аэротенка, температуры, дозы ила и т. д.

7. Необходимое количество реагентов на химическое удаление/доудаление фосфора, поддержание оптимального значения pH, необходимой щелочности для обеспечения требуемой концентрации аммонийного азота в очищенной воде, достаточность биогенных элементов и расчет, при недостаточности, заданного внешнего источника азота и(или) фосфора, достаточность органических соединений для необходимой эффективности процесса денитрификации и, при недостаточности, расчет расхода заданного внешнего источника углерода.

С учетом того, что «ПОТЕНЦИАЛ» описывает работу конкретных КОС, то под каждый объект требуется верификация как математических моделей за счет корректировки значений кинетических констант и коэффициентов всех рассматриваемых, для

конкретных сооружений, процессов очистки сточных вод, так и самой схемы реализации процессов..

ПРИМЕР РАБОТЫ ПО «ПОТЕНЦИАЛ»

Рассмотрим пример работы ПО «ПОТЕНЦИАЛ» для городских очистных канализационных сооружений (ГОКС) Самары, ООО «Самарские коммунальные системы». В соответствии с лицензионным договором ПО «ПОТЕНЦИАЛ» было установлено на компьютер, работающей в локальной сети ГОКС. В тестовом режиме ПО использовалось в период с сентября 2023 г. по июль 2024 г. при пуско-наладочных работах реконструированных аэротенков. ПО «ПОТЕНЦИАЛ» было применено для моделирования работы аэротенков при неизбежном повышенном расходе сточных вод, приходящимся на один аэротенк, и как следствие, повышенных нагрузках на активный ил из-за вывода части сооружений в реконструкцию.

ГОКС г. САМАРЫ. Источник: [HTTPS://WWW.ROSCOMSYS.RU](https://www.roscomsys.ru)



ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

ПО «ПОТЕНЦИАЛ» предполагает несколько возможных способов взаимодействия с пользователем. Информация может поступать одним из способов:

1. Данные от приборов контроля, которые в программе «ПОТЕНЦИАЛ» обрабатываются согласно алгоритму и заносятся в главное окно.

2. Непосредственно из электронного журнала пользователя (ЭЖП), создаваемого для конкретного объекта разработчиками ПО «ПОТЕНЦИАЛ» и предоставляемого вместе с программным обеспечением (динамический режим).

3. Данные вводятся вручную (режим симуляции, статический режим) для определения кинетических характеристик процессов в ходе отладки ПО и(или) уже при работе ПО на объекте для прогнозирования той или иной ситуации.

Способ 1 реализуется при наличии приборов, обеспечивающих все требуемые исходные данные, однако и в этом случае рекомендуем параллельно давать возможность или полного переключения на способ 2, или данные, которые невозможно получить от приборов контроля, поступают согласно способу 2. Существует возможность полностью переключиться на получение данных способом 2. Способ 3 реализуется в любом случае.

На этапе апробации исходные данные для расчетов вносились вручную в интерфейс программы. В дальнейшем планируется автоматический ввод данных с помощью существующей SCADA системы от имеющихся на ГОКС приборов (счетчиков расхода сточных вод по аэротенкам и избыточного ила, оксиметров аэробных и аноксидных зон, системы автоматического контроля качества очищенных сточных вод) и используемых на предприятии электронных отчетов в формате *Microsoft Office Excel* (концентрации загрязнений исходной воды, параметры активного ила, расход реагента) и т. д.

Блок «Вода, поступающая в аэротенк»

Главное окно ПО «ПОТЕНЦИАЛ» представлено на рис. 1.

Как видно из рис. 1, в программу поступает следующая информация:

1. $Q_{\text{сут}}$ – суточный расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{сут}$. Следует отметить, что в ПО «ПОТЕНЦИАЛ» расчет сооружений производится как на суточные расходы, так и на часовые (для ГОКС г. Самары данные часовых расходов в главном окне не отображаются).

2. Температура сточных вод, $^{\circ}\text{C}$. Данные о температуре сточных вод поступают в главное окно в непрерывном режиме, пересчитываются как средние значения за введенный в программу период времени, которые принимаются в расчет.

3. $L_{\text{вх}}$ – БПК₅ поступают от лаборатории из данных ЭЖП, в расчете принимаются последние полученные значения. С учетом большого периода времени от момента отбора пробы до момента получения данных возможен перерасчет БПК₅ несколькими способами. По ХПК с соответствующим коэффициентом или из данных, поступающих от анализаторов общего органического углерода. На ГОКС г. Самары в расчетах были приняты значения БПК₅ из данных лабораторного контроля.

4. ХПК_{вх} – ХПК сточной воды, поступающей в аэротенки. Данные по ХПК поступают от лаборатории из ЭЖП или от анализаторов ХПК. Для ГОКС в расчетах были приняты значения ХПК из данных лабораторного контроля.

5. $C_{\text{вх}}$ – концентрация взвешенных веществ (ВВ) сточной воды, поступающей в аэротенки. Данные по ВВ поступают от лаборатории из данных ЭЖП или от датчика взвешенных веществ; для ГОКС в расчеты были приняты значения ВВ из данных лабораторного контроля.

6. $\text{Щ}_{\text{вх}}$ – значение щелочности сточной воды, поступающей в аэротенки. Данные по щелочности поступают от лаборатории из данных ЭЖП.

7. Данные по аммонии, нитритам и фосфатам также могут в ПО «ПОТЕНЦИАЛ» поступать как от лаборатории из данных ЭЖП, так и от обработанных данных соответствующих датчиков.

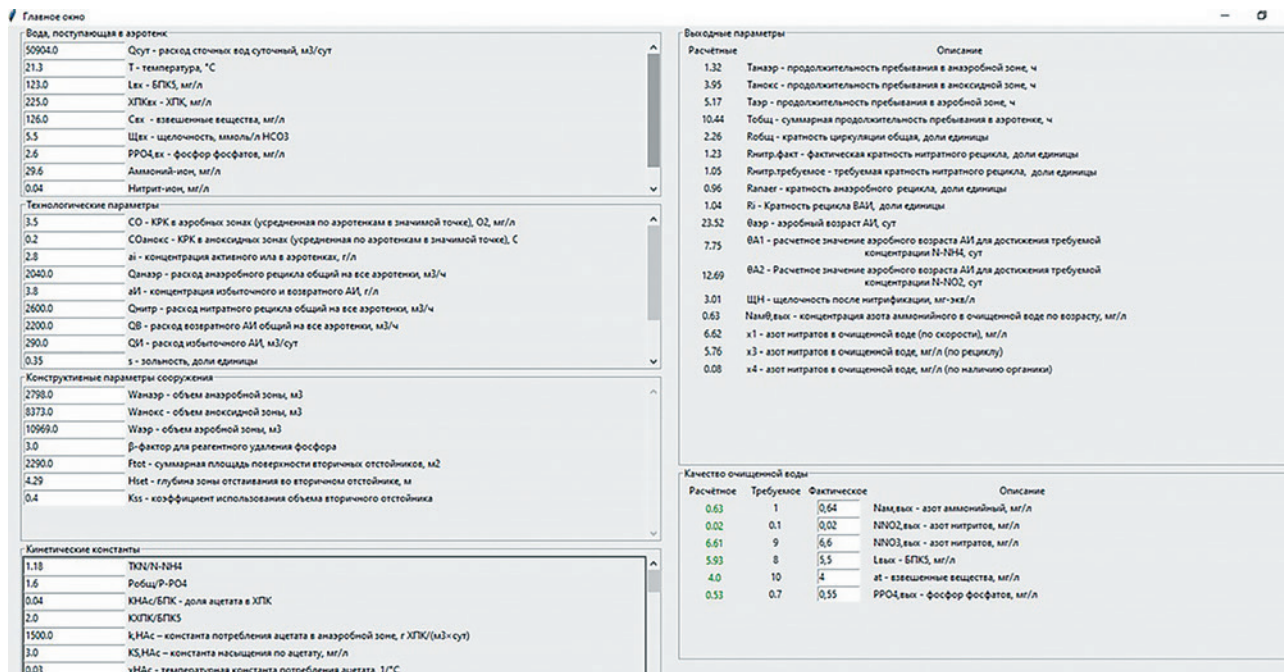


Рис. 1. Главное окно ПО «ПОТЕНЦИАЛ»

Блок «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ»

Технологические данные (см. рис. 1) также могут поступать в программу одним из 3-х перечисленных способов.

Блок «КИНЕТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ»

В этот блок поступают данные, полученные разработчиками ПО на этапе верификации под конкретные сточные воды при отладке программы на действующих КОС. Для ГОКС, ООО «Самарские коммунальные системы», полученные нами значения кинетических параметров процессов биологической очистки приведены в [7].

Блок «ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ. РАСЧЕТНЫЕ»

Выводятся расчетные результаты эксплуатационных параметров работы блока биологической очистки по фактическим данным:

- время пребывания сточной воды в различных зонах аэротенков и в аэротенках в целом, ч;
- фактические кратности внутренних рециклов и рецикла возвратного активного ила (ВАИ);

- фактические значения аэробного возраста активного ила (АИ), сут.

Программа также позволяет рассчитать значение общего возраста активного ила, однако для варианта, разработанного для ГОКС, ООО «Самарские коммунальные системы», это значение в главном окне не выводится.

Выводятся расчетные данные, которые получены на основе математической модели «Потенциал_БИО» при подстановке фактических данных, таких как расходы, температура, концентрации входных параметров сточной воды, дозы активного ила, концентрации растворенного кислорода, конструктивных и технических параметров аэротенков и т. д.:

- расчетные значения аэробных возрастов активного ила для первой θ_1 и второй θ_2 стадий нитрификации для достижения требуемой концентрации азота аммонийного и азота нитритов соответственно;
- расчетные значения концентраций азота аммонийного, азота нитритов и азота нитратов, БПК₅, взвешенных веществ и фосфора фосфатов, которые система должна обеспечивать при фактических условиях для рассматриваемого объекта.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Дата	Время	q	q_h	temperat_l_in	cod_in	c_in	alkalin	p_po4_in	ammonium	nitrite	nitrate	c_c
17.04..24	18:51	52140	2173	21,6	100	223	29	6,2	2,6	42	0,14	0

Рис. 2. ОБРАЗЕЦ БАЗЫ (EXCEL-ФАЙЛА) ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ПРОГРАММОЙ

Блок «Качество очищенной воды. РАСЧЕТНОЕ, ТРЕБУЕМОЕ, ФАКТИЧЕСКОЕ»

В блоке «Качество очищенной воды» также выводятся, в дополнение к расчетным, требуемым и фактическим текущим показателям концентраций азота аммонийного, азота нитритов и азота нитратов, БПК₅, взвешенных веществ и фосфора фосфатов.

МЕНЮ УПРАВЛЕНИЯ.

ЗАГРУЗИТЬ ДАННЫЕ, РАССЧИТАТЬ, ПОЛУЧИТЬ РЕКОМЕНДАЦИИ, СОХРАНИТЬ

Методика взаимодействия с конечным пользователем в динамическом режиме в ПО «ПОТЕНЦИАЛ» выбрана исходя из результатов анализа степени цифровизации различных очистных сооружений.

В большинстве случаев требуется обработка баз данных, хранящихся в формате *excel*. Для наших задач разработана ORM-система, которая отвечает требованиям заказчиков. Для реализации данной методики в проекте применена библиотека *Pandas*, позволяющая открывать, читать и манипулировать данными формата *excel*. Фрагмент варианта *excel*-файла, переданного пользователю, представлен на рис. 2.

Взаимодействие с подобного рода базой в рабочем режиме позволяет пользователю вводить информацию в программу посредством изменения файла *excel*. Предусмотрен механизм автоматической загрузки данных из электронного журнала пользователя, при активации которого с помощью нажатия

Рис. 3. ПРИМЕР ПРЕВЫШЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОЙ И РАСЧЕТНОЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ P-PO₄ в очищенной воде

Входные параметры		Выходные параметры	
Расчетные	Описание	Расчетные	Описание
1.43	Таназр - продолжительность пребывания в анаэробной зоне, ч	0.77	Нам_вх - азот аммонийный, мг/л
4.29	Танокс - продолжительность пребывания в аноксидной зоне, ч	0.04	НNO ₂ _вх - азот нитритов, мг/л
5.62	Тазр - продолжительность пребывания в аэробной зоне, ч	6.04	НNO ₃ _вх - азот нитратов, мг/л
11.35	Тобш - суммарная продолжительность пребывания в аэротенке, ч	1.97	Л_вх - БПК ₅ , мг/л
2.36	Робш - кратность циркуляции обшла, доли единицы	4.0	Лт - взвешенные вещества, мг/л
1.33	Внпр.факт - фактическая кратность нитратного рецикла, доли единицы	2.12	РPO ₄ _вх - фосфор фосфатов, мг/л
0.96	Внпр.требуемое - требуемая кратность нитратного рецикла, доли единицы		
1.05	Рапазр - кратность анаэробного рецикла, доли единицы		
1.03	Рз - Кратность рецикла ВАН, доли единицы		
22.51	Вазр - аэробный возраст АИ, сут		
7.78	ВА1 - расчетное значение аэробного возраста АИ для достижения требуемой концентрации N-NH ₄ , сут		
13	ВА2 - Расчетное значение аэробного возраста АИ для достижения требуемой концентрации N-NO ₂ , сут		
3.47	ЩН - щелочность после нитрификации, мг-экв/л		
0.77	Нам_вх - концентрация азота аммонийного в очищенной воде по возрасту, мг/л		
89.95	Нагрузка по БПК ₅ на беззольное вещество q _г БПК ₅ (г/г·сут)		
6.04	x1 - азот нитратов в очищенной воде (по скорости), мг/л		
5.31	x3 - азот нитратов в очищенной воде, мг/л (по рециклу)		
0.02	x4 - азот нитратов в очищенной воде, мг/л (по наличию органики)		

Качество очищенной воды			
Расчетное	Требуемое	Фактическое	Описание
0.77	1	0.79	Нам_вх - азот аммонийный, мг/л
0.04	0.1	0.04	НNO ₂ _вх - азот нитритов, мг/л
6.04	9	6.35	НNO ₃ _вх - азот нитратов, мг/л
1.97	8	2.2	Л_вх - БПК ₅ , мг/л
4.0	10	4	Лт - взвешенные вещества, мг/л
2.12	0.7	2.3	РPO ₄ _вх - фосфор фосфатов, мг/л

Конструктивные параметры сооружений	
2790.0	Ваназр - объем анаэробной зоны, м ³
8373.0	Ванокс - объем аноксидной зоны, м ³
10969.0	Вазр - объем аэробной зоны, м ³
3.0	β-фактор для реагентного удаления фосфора
2290.0	Рлет - суммарная площадь поверхности вторичных отстойников, м ²
4.29	Нсет - глубина зоны отстаивания во вторичном отстойнике, м
0.4	Ксс - коэффициент использования объема вторичного отстойника

Кинетические константы	
1.18	TKN/N-NH ₄
1.0	Робш/Р-PO ₄
0.04	хНАС/БПК - доля ацетата в ХПК
2.0	хПК/БПК ₅
1500.0	k _{НАС} - константа потребления ацетата в анаэробной зоне, г ХПК/(м ³ ·сут)
3.0	K ₅ НАС - константа насыщения по ацетату, мг/л
0.03	хНАС - температурная константа потребления ацетата, 1/°C
0.05	hНАС - стехиометрический коэффициент удаления фосфора, мг Р/мг ХПК ацетата
0.6	γ - коэффициент прироста биомассы, мг БВАУ/мг БПК
0.05	b - коэффициент распада биомассы, 1/сут

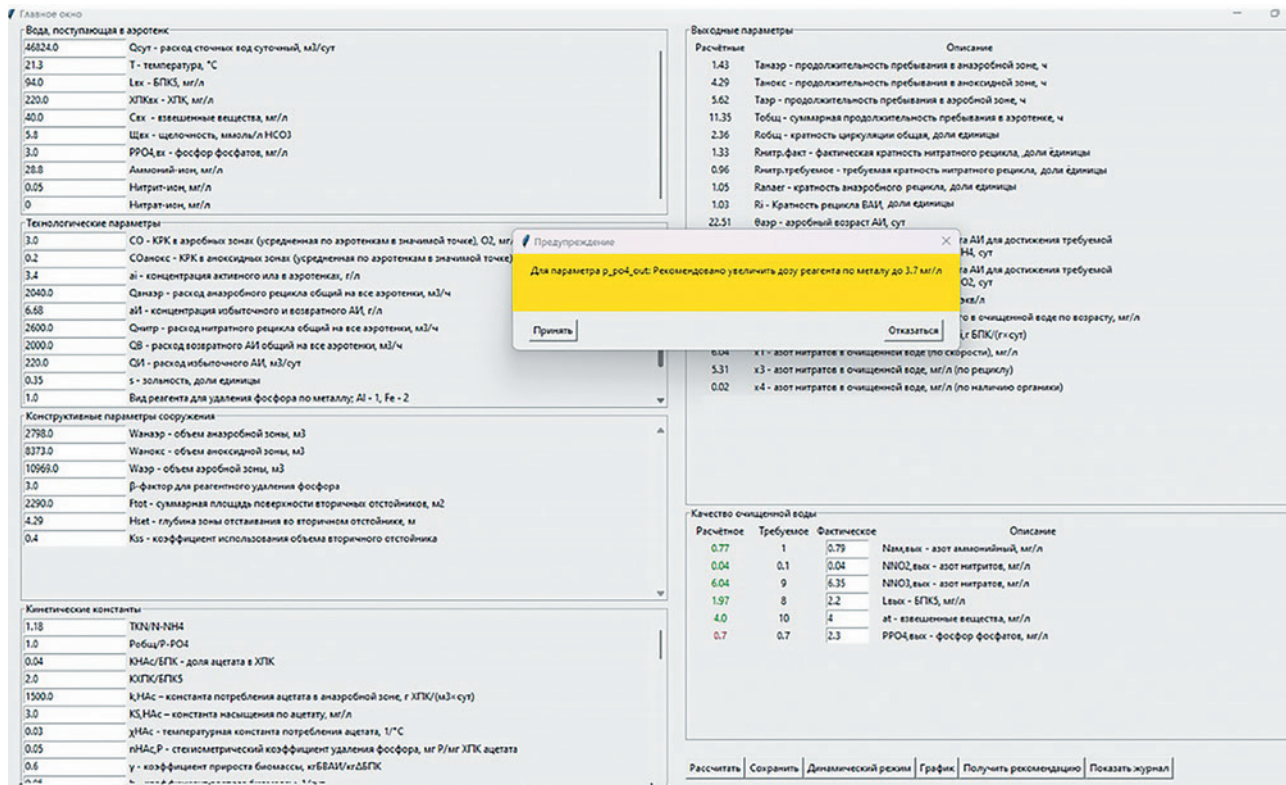


Рис. 4. ПРИМЕР РЕКОМЕНДАЦИИ ПО «ПОТЕНЦИАЛ» (для ситуации рис. 3)

кнопки «Загрузить данные» они попадают в программу, запуская полный расчет качества очистки и выдачи рекомендаций (если рекомендации необходимы).

Расчет производится при нажатии на кнопку «Рассчитать». ПО определяет расчетные концентрации азота аммонийного, азота нитритов и нитратов, БПК₅, взвешенных веществ и фосфора фосфатов в очищенной воде и сравнивает их с нормативными (требуемыми) значениями. При нажатии кнопки «Сохранить» программа формирует файл отчета в виде документа *excel*.

Показатели, находящиеся в пределах установленных нормативных значений, выводятся зеленым цветом, превышающие нормативы – красным.

На рис. 3 показана реальная ситуация, когда для отработки данного режима (тестовая апробация ПО «ПОТЕНЦИАЛ») была прекращена подача реагента для химического доудаления фосфора. В результате фактическая концентрация фосфора фосфатов

составила 2,3 мг/л, расчетное значение для рассматриваемой ситуации – 2,12 мг/л при требуемой концентрации 0,7 мг/л. ПО, сравнив фактическое, расчетное и требуемое значения, выделило данный показатель красным цветом.

При несоответствии фактических данных расчетным (которые конкретная система должна обеспечивать в текущих условиях) или при их соответствии, но превышении требуемых значений качественных характеристик очищенной воды следует нажать кнопку «Получить рекомендации». «ПОТЕНЦИАЛ» пересчитывает эксплуатационный режим работы сооружений в максимальной эффективности очистки на данных сооружениях в фактических условиях и выдаст численные рекомендации, обеспечивающие оптимальные эксплуатационные решения.

Для рассмотренного на рис. 3 примера была выдана численная рекомендация (рис. 4), которая должна обеспечить требуемое качество очищенной воды по фосфору фосфатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ НА ГОКС г. САМАРЫ

Применение и отработка ПО «ПОТЕНЦИАЛ» на ГОКС, ООО «Самарские коммунальные системы», позволило:

1. Оценить эффективность заложенных проектных решений блока биологической очистки для текущих фактических качественных и количественных показателей поступающих сточных вод.

2. Выявить проблемы, связанные с неравномерностью распределения поступающих сточных вод по аэротенкам.

3. Определить фактические значения аэробного возраста активного ила, при которых достигается требуемое качество очищенных сточных вод.

4. Определить фактические объемы осадка (избыточного активного ила), отправляемого на обезвоживание.

5. Определить кинетические параметры процессов биологической очистки для сточных вод, поступающих на ГОКС г. Самары.

6. Доказать корректность разработанной авторами и применяемой математической модели расчетов аэротенков. Относительная погрешность расчетов ПО «ПОТЕНЦИАЛ» качества очищенных сточных вод в сравнении с фактическими анализами составила менее 8 % (см. табл.).

7. Показать корректность и эффективность рекомендаций, выдаваемых ПО «ПОТЕНЦИАЛ».

Работа по расширению возможностей ПО «ПОТЕНЦИАЛ» продолжается, планируется смоделировать весь комплекс сооружений от решеток до УФ-обеззараживания с выдачей рекомендаций по каждому блоку.

Также в перспективе функционал ПО «ПОТЕНЦИАЛ» будет развиваться, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта. Программное обеспечение написано на языке программирования *Python* для реализации нейросетевых технологий.

Таблица.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БЛОКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПО «ПОТЕНЦИАЛ».

РАСЧЕТНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В ОЧИЩЕННОЙ ВОДЕ В СРАВНЕНИИ С ФАКТИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ (за период 13–15 ноября 2023 г.)

Показатель	Дата					
	13.11.2023		14.11.2023*		15.11.2023*	
	расчет**	факт	расчет**	факт	расчет**	факт
Азот аммонийный	0,68	0,73	0,62	0,61	0,63	0,64
Азот нитритов	0,02	<0,02	0,02	<0,02	0,02	0,02
Азот нитратов	8,7	8,9	9,1	9,8	6,61	6,6
Фосфор фосфатов***	1,63	1,59	0,28	0,29	0,53	0,55
БПК ₅	3,79	4	7,52	8	5,59	5,5

* В потоки иловой смеси после аэротенков вводился раствор сульфата алюминия (Al_2O_3) с дозой 18,5 мг/л.

** При подобранных значениях кинетических констант и коэффициентов относительная погрешность результатов расчета и фактических анализов составляет менее 8 %.

*** Соответствующее значение β -фактора, при котором адекватно описывалось реагентное удаление фосфора, оказалось равным 3. β -фактор учитывает превышение фактического количества реагента, требуемого для осаждения 1-го моля фосфора (моль Ме/моль Р), над расчетным стехиометрическим количеством. Зависит от реализованной схемы очистки сточных вод, точки ввода реагента и требований к качеству очищенной воды по фосфору.

Выводы

1. ПО «ПОТЕНЦИАЛ», представляющее симулятор процесса очистки сточных вод на канализационных очистных сооружениях, апробировано на реальных городских очистных канализационных сооружениях (ГОКС) г. Самары. В течение 10 месяцев использовалось ООО «Самарские коммунальные системы» в период реконструкции и пуско-наладочных работ для моделирования работы сооружений биологической очистки. При проведении планово-предупредительных ремонтов сооружений биологической очистки использовалось в качестве помощника технолога.

2. Апробация продемонстрировала, что ПО «ПОТЕНЦИАЛ» позволяет решать реальные задачи эксплуатации на основании расчета конкретных сооружений в текущих условиях: на основании качественного и количественно состава поступающих сточных вод и технологического режима работы сооружений рассчитывает качество очищенной воды, которое должны выдавать КОС в соответствии с проектным решением, сравнивает с фактическим, расчетами выявляет проблему эксплуатации и выдает численные рекомендации по изменению эксплуатационного режима сооружений, обеспечивающих максимальную эффективность их работы.

3. Блок биологической очистки сточных вод (биологические реакторы, в том числе аэротенки) рассчитывается по разработанной авторами данной статьи модели «Потенциал_БИО», основанной на формулах ферментативной кинетики. Продемонстрирована высокая сходимость расчетных и фактических показателей (расхождение менее 8 %).

4. В настоящее время проводятся организационные мероприятия по формированию автоматической передачи данных с помощью существующей SCADA системы от имеющихся на ГОКС приборов (счетчиков расхода сточных вод по аэротенкам и избыточного ила, оксиметров аэробных и аноксидных зон, системы автоматического контроля качества очищенных сточных вод) и используемых на предприятии электронных отчетов в формате *Microsoft Office Excel* (концентрации загрязнений исходной воды, параметры активного ила, расход реагента).

5. Использование ПО «ПОТЕНЦИАЛ» позволяет значительно снизить время принятия корректных решений при эксплуатации КОС, исключить ошибки при эксплуатации сооружений, а также выбрать оптимальное решение, позволяющее обеспечить требуемое или соответствующее пределу технологической эффективности качество очищенной воды при минимальных эксплуатационных затратах. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов С. В., Харьковина О. В., Авдеенков П. П., Лазунин М. В., Пономаренко О. С. Математическое моделирование процессов очистки сточных вод в аэротенках // Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 9. С. 22–31.
2. Харьковина О. В., Степанов С. В. Анализ моделей и методик расчета аэротенков // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2023. № 1. С. 36–48.
3. Харьковина О. В., Степанов С. В. Анализ моделей и методик расчета аэротенков // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2023. № 2. С. 30–41.
4. Мойжес О. В. (Харьковина О. В.) Динамическая модель ОхД сооружений биологической очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 10. С. 52–57.
5. Швецов В. Н., Степанов С. В., Харьковина О. В. Сравнение результатов расчета аэротенков по моделям НИИ ВОДГЕО/СамГТУ и ASM2d // Водоснабжение и санитарная техника. 2021. № 5. С. 18–29. DOI: 10.35776/VST.2021.05.02
6. Харьковина О. В. Методы расчета сооружений биологической очистки: сравнительный анализ // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2021. № 6. С. 50–62.
7. Степанов С. В., Егорова Ю. А., Харьковина О. В., Авдеенков П. П., Нестеренко О. И., Лазунин М. В., Стрелкова Т. А., Злобин И. Д. Результаты математического моделирования процессов очистки сточных вод в аэротенках на ГОКС г. Самары в период реконструкции и пуско-наладочных работ // Водоснабжение и санитарная техника. 2024. № 11. С. 24–31.
8. Харьковина О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. – Волгоград: Панорама, 2015.
9. СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения. Изм. № 1, 2, 3.