

Изменение № 2 к СП 32.13330.2018 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения»: опыт использования¹

**ЭКСПЕРТ НОМЕРА, СОАВТОР-
РАЗРАБОТЧИК СП 32.13330.2018,
ДЕЛИТСЯ НЕКОТОРЫМ
ОПЫТОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ДАННОГО ДОКУМЕНТА КАК
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ
СООРУЖЕНИЙ, ТАК И ДЛЯ ВЫБОРА
ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ.**



ЭКСПЕРТ НОМЕРА

**ХАРЬКИНА ОКСАНА
ВИКТОРОВНА²,
КАНД. ТЕХН. НАУК,
НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ
КОМПАНИИ «АРХИТЕКТУРА
ВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»,
РУКОВОДИТЕЛЬ СЕКЦИИ
«ОТВЕДЕНИЕ И ОЧИСТКА
СТОЧНЫХ ВОД» ЭТС РАВВ,
ЧЛЕН ГРУППЫ ОЦЕНКИ
ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ
ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ
ПРИ МИНСТРОЕ РОССИИ**

¹ Продолжение. Начало см. НДТ. 2022. № 4. С. 52–59.

² Тел. +79261405960, e-mail:okh@watertec.ru

В рассматриваемом документе большое внимание уделяется рекомендациям по математической обработке входных параметров поступающих сточных вод (расходов, концентраций загрязнений и температуры поступающих сточных вод), подходам к определению нагрузок по рассматриваемым загрязняющим веществам и расчету тех качественных и количественных параметров сточных вод, которые должны закладываться в формулы расчета сооружений. Следует отметить, что корректная обработка входных данных и получение расчетных значений расходов, концентраций, температуры, которые используют в формулах расчета, требуют не только внимательного изучения самого документа, но и правильного понимания, в том числе и с математической точки зрения, как проводить расчеты входных данных с учетом требований [1], какие должны быть получены результаты, и как корректно в расчетах сооружений использовать эти результаты.

Для лучшего понимания указанные вопросы будут рассмотрены на конкретных примерах. В целях соблюдения конфиденциальности, объекты, а также абсолютные значения параметров поступающих сточных вод не приводятся.

РАСХОДНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Согласно [1], исходные данные для проектирования развития и реконструкции существующих очистных сооружений следует принимать на основании верифицированных результатов контроля расхода и свойств поступающих сточных вод за период не менее 3 лет. Автором был проведен анализ данных объекта с 2019 г. по август 2022 г. в соответствии с требованиями [1] при определении различных расходных параметров. Следует отметить, что в [1] указано, что для расчетов сооружений необходимо использовать релевантные значения исходных данных, набор которых определяется в зависимости от используемых методик расчета.

Расходные параметры по году и за рассматриваемый период в целом:

- мощность сооружений – среднесуточный расход как среднесуточное значение из всего рассматриваемого массива данных, м³/сут;
- среднесуточный расход – среднее значение из среднесуточных расходов за каждый год за рассматриваемый период, м³/сут;
- суточный расход 15 % обеспеченности (значение 85-го перцентиля суточных расходов – среднее из годовых значений 85-х перцентилей за рассматриваемый период), м³/сут;
- суточный расход 3 % обеспеченности (значение 97-го перцентиля суточных расходов – среднее из годовых значений 97-х перцентилей за рассматриваемый период), м³/сут;
- суточный расход 1 % обеспеченности (значение 99-го перцентиля суточных расходов – среднее из годовых значений 99-х перцентилей за рассматриваемый период), м³/сут;
- максимальный суточный расход (значение расхода 99,7-го перцентиля – среднее из годовых значений 99,7-х перцентилей за рассматриваемый период), м³/сут;
- среднечасовой расход в сутки со средним притоком, м³/час;
- среднечасовой расход в сутки 15 % обеспеченности, м³/час;
- максимальный часовой расход в сутки со средним притоком, м³/час;
- максимальный часовой расход в сутки 15 % обеспеченности, м³/час;
- максимальный часовой расход в сутки максимального притока (значение суточного расхода 99,7-го перцентиля), м³/час.

Примечание. Определение понятия «перцентиль» см. в СП 32.13330.2018 (п. 3.6 (б))



ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

Расчетные расходные характеристики по периодам (холодному и теплomu):

- среднесуточный расход – среднее значение среднесуточных расходов за каждый год за рассматриваемый расчетный период (холодный и теплый), м³/сут;
- суточный расход 15 % обеспеченности (значение 85-го перцентиля суточных расходов – среднее из значений 85-х перцентилей за рассматриваемые расчетные периоды каждого года), м³/сут;
- суточный расход 3 % обеспеченности (значение 97-го перцентиля суточных расходов – среднее из значений 97-х перцентилей за рассматриваемые периоды каждого года), м³/сут;
- суточный расход 1 % обеспеченности (значение 99-го перцентиля суточных расходов – среднее из значений 99-х перцентилей за рассматриваемые периоды каждого года), м³/сут;
- максимальный суточный расход (значение расхода 99,7-го перцентиля – среднее из значений 99,7-х перцентилей за рассматриваемые периоды каждого года), м³/сут;
- среднечасовой расход в сутки со средним притоком, м³/час;
- среднечасовой расход в сутки 15 % обеспеченности, м³/час;
- максимальный часовой расход в сутки со средним притоком, м³/час;
- максимальный часовой расход в сутки 15 % обеспеченности, м³/час;
- максимальный часовой расход в сутки максимального притока (значение суточного расхода 99,7-го перцентиля), м³/час.

Результатом обработки данных расходов сточных вод должен быть массив значений, пример см. в табл. 1 (конечно, не обязательно полученные значения оформлять в табличной форме, но именно так удобнее структурировать полученные результаты расчетных значений расходов и не ошибиться при их выборе для расчетов сооружений).

Исходя из полученных значений расходов, были определены соответствующие коэффициенты неравномерности.

Математическая обработка массива входных данных по качественным характеристикам поступающих сточных вод в соответствии с рекомендациями/требованиями [1] должна проводиться за период не менее 3 лет (п. 9.1.2). Необходимо обратить внимание, что согласно [1] в качестве базовых исходных данных для получения расчетных концентраций следует использовать величины массовых нагрузок по загрязняющим веществам (кг/сут, т/сут), определяемые как произведение расхода сточных вод в конкретные сутки на концентрацию данного загрязняющего вещества в эти сутки. В [1] написано, что «при расчете очистных сооружений следует предусматривать достижение нормативного качества очищенных сточных вод в диапазоне концентраций загрязняющих веществ от 15-го перцентиля (минимальное значение из расчетного диапазона) до 85-го перцентиля – максимальное значение концентраций из расчетного диапазона (с учетом Г.2.7 по отношению к общему азоту). В зависимости от конкретной ситуации и при обосновании, значения указанных перцентилей могут быть изменены».

Таблица 1. Расчетные значения фактических расходов

	Показатель	Ед. изм.	Значение
1	Среднесуточный расход	м ³ /сут	313 633
2	Суточный расход 15 % обеспеченности (85-й перцентиль)	м ³ /сут	337 208
3	Суточный расход 3 % обеспеченности (97-й перцентиль)	м ³ /сут	376 934
4	Суточный расход 1 % обеспеченности (99-й перцентиль)	м ³ /сут	406 135
5	Максимальный суточный расход (99,7 перцентиль)	м ³ /сут	431 294
6	Средний часовой расход в сутки со средним притоком	м ³ /час	13 068
7	Средний часовой расход в сутки с притоком 15 % обеспеченности	м ³ /час	14 050
8	Максимальный часовой расход в сутки со средним притоком	м ³ /час	18 883
9	Максимальный часовой расход в сутки с притоком 15 % обеспеченности	м ³ /час	19 539
10	Максимальный часовой расход в сутки максимального притока	м ³ /час	24 125

В ходе разработки [1] мы, как авторы документа, специально дали возможность задавать тот диапазон рассматриваемых параметров (диапазон значений процентилей), который, с точки зрения технолога, будет наиболее адекватно отражать реальную ситуацию³.

ПЕРЕЧЕНЬ АНАЛИЗИРУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Обработка массива данных должна проводиться по значимым для анализа и расчета конкретных очистных сооружений параметрам. Как правило, в ходе аналитического контроля городских канализационных очистных сооружений делается достаточно большой перечень показателей, количество которых в некоторых случаях превышает 20. На промышленных канализационных очистных сооружениях количество параметров, которые анализируются лабораторией, может быть еще больше. Здесь возникает вопрос о необходимости статистической обработки всего перечня анализируемых лабораторией параметров для проведения работы по проектированию очистных сооружений. Очевидно, что необходимость проведения статистического анализа всех параметров, которые определяются на очистных сооружениях, отсутствует. С другой стороны, в [1] дан только минимальный перечень качественных параметров, которые должны быть определены, с учетом того, что в данном документе именно эти параметры используются в качестве расчетных: ХПК, БПК₅, взвешенные вещества, формы азота (для поступающей и осветленной сточной воды – это азот аммонийный и общий азот), фосфор фосфатов и общий фосфор, температура. При этом, согласно Г.2.5 [1] написано, что «для расчетов сооружений с удалением азота и фосфора следует использовать

только исходные данные по концентрации в сточных водах общего азота и общего фосфора. При отсутствии фактических данных по наличию первичных исходных данных по общему азоту и общему фосфору их следует определять расчетным путем на основании данных по аммонийному азоту (аммоний-иону) и фосфору фосфатов. Для этого необходимо учитывать содержание азота и фосфора во взвешенных веществах и содержание органического азота и органического фосфора в поступающих сточных водах». Далее в документе дана детальная информация, как в случае отсутствия реальных данных по общему фосфору и общему азоту рассчитывать значения данных параметров.

В примере, который описывает автор статьи, значения азота общего N_{tot} и фосфора общего P_{tot} в массиве переданных заказчиком данных определялись значительно реже, чем аммоний и фосфаты, поэтому для получения расчетных значений азота общего N_{tot} и фосфора общего P_{tot} , были определены средние значения коэффициентов соотношений и значения 85-х процентилей, что показало высокую стабильность данных соотношений. Так, средние значения $N_{tot} / N-NH_4$ составили 1,32, $P_{tot} / P-PO_4 = 1,9$. Значения отношений 85-х процентилей, соответственно, 1,36 и 1,98. Но это мы говорим о сточных водах конкретного города.

Опыт автора статьи показывает, что только по средним значениям и только на тех сооружениях, на которых подобный анализ был проведен, диапазон данных отношений составляет 1,1–2,8 и 1,3–3,2. Исходя из этого, можно рекомендовать при отсутствии реальных данных по общему азоту и общему фосфору перед проведением расчетов канализационных очистных сооружений (если есть такая возможность) сделать такие анализы несколько раз, то есть в одной пробе необходимо определять аммоний и общий

³ Например, если данные определяются только раз в месяц, соответственно – за год будет 12 значений. Автор не рискнул бы использовать для такого случая 15–85-й процентиля и, если нет среди этих данных аномальных значений, рассмотрел бы диапазон 0–100-й процентиля (по опыту других очистных сооружений). В описываемом же в данной статье примере на канализационных очистных сооружениях постоянно отбирались как декадные пробы, так и, периодически, пробы отбирались между декадными пробоотборами. – Примеч. авт.

азот, фосфаты и общий фосфор, а не проводить расчеты по [1]. Расчет же общего азота и общего фосфора по [1] – это уже совсем безвыходный случай, когда данные по этим показателям отсутствуют, а проведение дополнительных анализов невозможно.

Вся обработка данных основывается на понятии «загрязняющие вещества», что позволяет технологу самому добавлять вещества в анализируемый список по своему разумению, исходя из того, какие необходимы параметры для решения технологической задачи. В примере, рассматриваемом в статье (городские сточные воды), были дополнительно к указанному перечню параметров проанализированы щелочность, нефтепродукты, хлориды, сульфаты, pH и некоторые металлы.

Если говорить о щелочности, то этот показатель [1] вообще не упоминает, тем не менее, автор статьи настоятельно рекомендует оценивать данный показатель при расчете сооружений биологической очистки, реализующих технологии нитрификации и денитрификации. Как известно, при окислении 1 мг аммонийного азота уменьшение щелочности составляет 7,14 мг (как CaCO_3). При исчерпании щелочности процесс нитрификации останавливается [2]. Расчет потребляемой щелочности в ходе процесса нитрификации необходимо проводить как при проектировании сооружений, так и при их эксплуатации. Так, при проведении анализа проблем эксплуатации канализационных очистных сооружений, автор часто сталкивается с тем, что щелочности не хватает на реализацию процесса нитрификации. При этом расчет достаточности щелочности на процессы нитрификации следует вести с учетом того, что денитрификация (в противоположность нитрификации), увеличивает щелочность среды и вызывает увеличение pH среды в зависимости от буферной ёмкости среды [2], восстановление 1 мг/л N-NO_3 повышает щелочность иловой смеси на 3,57 мг/л (как CaCO_3). Также необходимо обращать внимание на динамику значений pH в рассматриваемый период.

В конкретном рассматриваемом примере на очистные сооружения поступали сточные воды с залповыми «пиками» нефтепродуктов. Проведенный анализ показал, что мак-

симальные значения нефтепродуктов за весь рассматриваемый период составили (максимальные за каждый год) 8,9 мг/л, 10,1 мг/л, 11,0 мг/л. Значения 95-х перцентилей, соответственно – 8,0 мг/л, 7,6 мг/л, 7,7 мг/л, значения 90-х перцентилей 5,7 мг/л, 4,9 мг/л, 4,5 мг/л, а 85-х перцентилей – 3,3 мг/л, 4,0 мг/л, 2,7 мг/л. Такой анализ не предлагается в [1], но он необходим был в конкретном случае, так как позволил при расчете аэротенков корректно принять значения кинетических коэффициентов в формулах расчета сооружений биологической очистки (процессов нитрификации, денитрификации, аэробного окисления органических соединений, прироста биомассы) с учетом поступления нефтепродуктов. Если же проводится проектирование блока сооружений биологической очистки сточных вод на нефтеперерабатывающих предприятиях, то детальный статистический анализ сточных вод по концентрациям нефтепродуктов следует проводить в обязательном порядке.

Анализ массивов данных по сульфатам и хлоридам проводился с целью понимания необходимости установки сооружений обессоливания для выполнения требований к данным параметрам. Кроме того, был проведен статистический анализ данных по металлам. Следует отметить, что в последнее время на фоне обсуждения достижения качественных показателей по органическим соединениям, взвешенным веществам, формам азота и фосфора, тема качества очищенной воды по металлам, как-то обходится. Вместе с тем, при существующих требованиях к качеству очищенной воды и штрафах, этот вопрос является не менее важной темой. В рассматриваемом документе [1] тема удаления металлов описана только в разделах, которые касаются поверхностных сточных вод, а вот для городских и близких к ним по составу промышленных сточных вод она практически не освещена. Так, в п. 9.2.10 говорится, что *«доочистка также может быть применена для удаления из производственных сточных вод специфических загрязняющих веществ (солей тяжелых металлов, бионеразлагаемых органических соединений и др.) и снижения в них общего содержания*



(обратноосмотические мембраны и др.)». В п. 9.2.5.5 указано, что «запрещается использовать в качестве реагентов для осаждения фосфора на сооружениях биологической очистки сточных вод отходы переменного состава, а также содержащие тяжелые металлы в концентрациях, превышающих требования к содержанию этих элементов в коагулянтах для питьевого водоснабжения более чем в пять раз.» Очевидно, что в последующих редакциях СП, эта тема должна быть детально разработана.

В [1] говорится о необходимости определения отношений значений БПК₅ и концентраций взвешенных веществ к концентрациям общего азота и общего фосфора. Это очень важный момент, который нельзя пропускать при обработке данных, так как результаты такой обработки уже на этом этапе позволяют, в том числе, определить, возможна ли (в принципе) реализация технологии биологического удаления фосфора. Ведь совершенно недостаточно, вооружившись ИТС

10-2019 [3], решить, что, с учетом производительности сооружений и категорией водоема Б, следует принять технологию биологической очистки 7д «Очистка с биологическим удалением азота и биолого-химическим удалением фосфора». Вместе с тем, в приложении, в таблице 5.8 данного ИТС, указано, что «однако, при неблагоприятном составе сточных вод (низкое соотношение БПК₅ к азоту)... может потребоваться применение чисто химического осаждения. Но в этой ситуации его применение должно быть обосновано технологическими расчетами.» Именно поэтому, что при низких отношениях БПК к азоту и фосфору невозможно даже частично реализовать технологию биологического удаления фосфора. И это не зависит ни от схемы, ни от конструктивных и технических решений, ведь просто не хватит органических веществ на запуск и поддержание самого процесса биологического удаления фосфора, то есть на культивирование фосфораккумулирующих микроорганизмов [2].

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

ТАБЛИЦА 2. Сводные значения отношения показателей, в том числе БПК₅ к N_Т и Р_Т

	ХПК/БПК ₅	ВВ/БПК ₅	БПК ₅ /Общий азот	БПК ₅ /Общий фосфор
85-й процентиль	2,04	1,31	7,2	46,0
Среднее значение	2,02	1,23	7,0	44,9
15-й процентиль	1,98	1,07	6,8	45,7
Минимальное значение	1,13	0,57	5,9	42,7



В рассматриваемом примере эти отношения указаны в табл. 2.

Исходя из полученных данных, было принято решение о возможности реализации технологии биологического удаления азота и фосфора с частичным доудалением фосфора химическим методом. Детальный расчет сооружений биологической очистки подтвердил это решение.

Если отношение БПК₅ к общему азоту (удаляемому) менее 4,0, невозможно не только частичное удаление фосфора биологическим путем (удаление фосфора за счет прироста ила не относится, в данном случае, к биологическому удалению фосфора), но и достижение требуемого качества очищенной воды по нитратам (для этого в данном случае потребуется дозирование внешнего источника углерода).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК

Нагрузка по рассматриваемому показателю загрязнения поступающих сточных вод W_{i,d^*} определяется по формуле:

$$W_{i,d^*} = C_{i,d^*} \times Q_{d^*},$$

где d^* – разовые пробы в конкретные даты; C_{i,d^*} – фактическая концентрация по конкретному показателю i (в конкретную дату d^*); Q_{d^*} – фактический суточный расход (за эту же дату d^*).

Согласно [1], п. Г.2.4, следует определить среднее значение (за 3 года или другой выбранный период) из следующих параметров:

- 1) 85-е процентиля (за каждый год), если массив W_{i,d^*} составляет более 100 значений за год;
- 2) 90-е процентиля (за каждый год), если массив W_{i,d^*} составляет менее 40 значений за год;
- 3) 95-е процентиля (за каждый год), если массив W_{i,d^*} составляет менее 15 значений за год.

Определенное таким образом значение является расчетным значением нагрузки по конкретному показателю C_i . Далее, расчетное значение концентрации (по конкретному показателю C_i) определяется из расчетного значения нагрузки (по C_i) и расчетного значения расхода Q_{85} (85-й процентиль массива расходов).

Большое внимание в [1] уделяется температуре: «При обработке исходных данных следует использовать понятие расчетного периода (сезона), что объясняется выраженной динамикой температуры сточных вод. При этом для выделения расчетного периода (периодов) следует обрабатывать весь массив данных, предусмотренных 9.1.2. Для населенных пунктов обычного типа в качестве расчетного периода для определения всех параметров очистных сооружений (за исключением потребности в воздухе) следует принимать

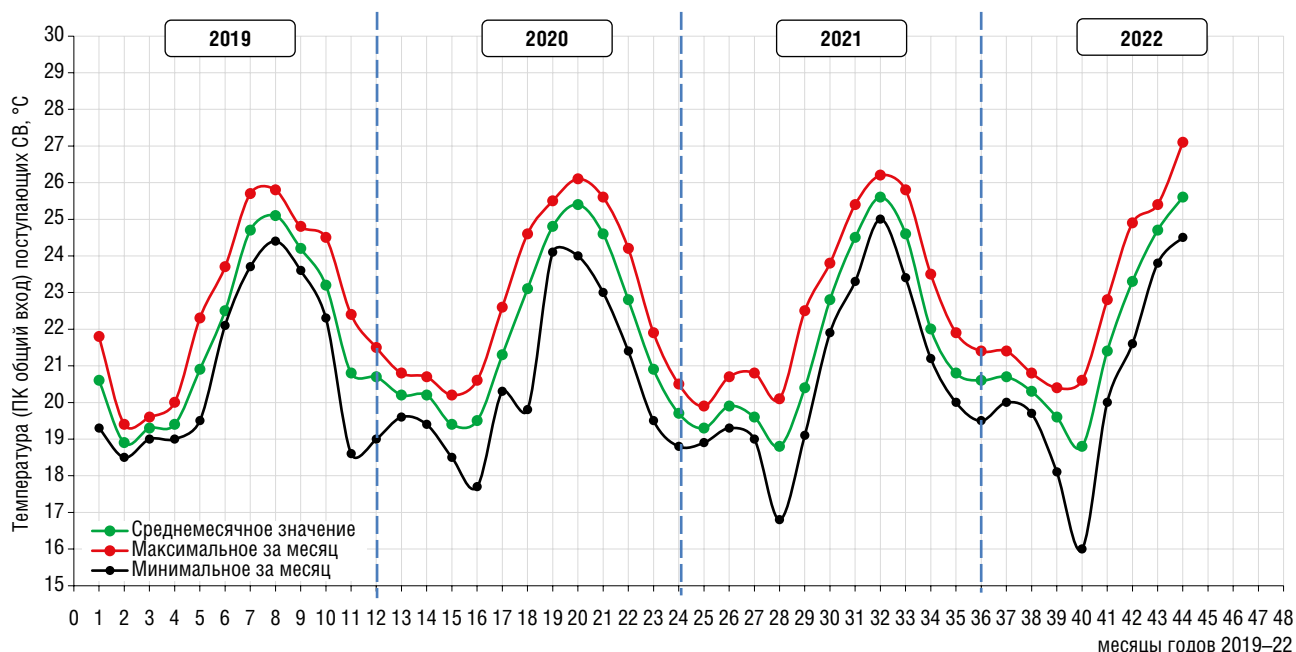
более холодный сезон. В качестве расчетного сезона для населенных пунктов обычного типа следует принимать три месяца, характеризующиеся минимальной температурой поступающих сточных вод (в зависимости от фактических данных по температуре поступающих сточных вод). Решение о необходимости использования двух расчетных периодов следует принимать для поселений, для которых нагрузка в летний период (среднемесячная для месяца с максимальным значением) не менее, чем в 1,3 раза превышает среднюю нагрузку в три зимних месяца, в которые температура сточных вод минимальна. Для определения расчетной потребности в воздухе во избежание нерационального завышения ее производительности для очистных сооружений обычных поселений, начиная с крупных, также рекомендуется использование двух расчетных сезонов – зимнего и летнего. Зимний сезон следует назначать аналогично, а летний принимать по трем месяцам, характеризующимся максимальной температурой поступающих сточных вод.»

На рис. 1 приведен график температурного режима сточных вод рассматриваемого примера.

Для определения расчетных периодов, холодного и теплого, согласно [1], необходимо выбрать по 3 месяца, характеризующиеся, соответственно, минимальной и максимальной температурами поступающих сточных вод, определенными на основании фактических данных.

Как видно из графика, для рассматриваемого периода, холодным периодом, как по минимальным месячным значениям, так и по средним, является период февраль–апрель, а теплым – июль–сентябрь. Тем не менее, автор статьи делает расчеты сооружений биологической очистки как на весь период, так и на холодный и теплый для сравнения результатов. На них базируются конструктивные решения, которые обеспечивают требуемое качество очистки во всех указанных расчетных ситуациях. Автор очень осторожно относится к идеям «переменных зон», которые можно иногда видеть в предложениях коллег. Технологические, технические и конструктивные решения, которые принимаются при проектировании, должны позволять стабильно обеспечивать качество очищенной воды в течение всего периода эксплуатации канализационных очистных сооружений с минимальными дополнительными

Рис. 1. Динамика значений температуры поступающих сточных вод за 2019–2022 годы



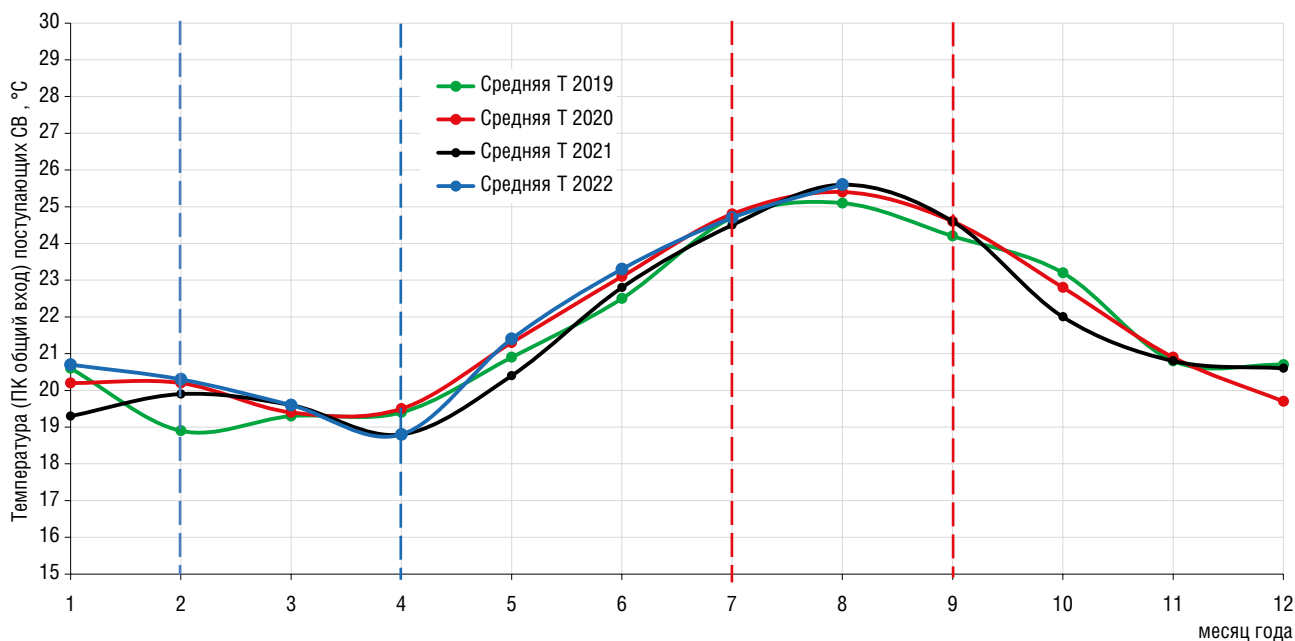


Рис. 2. Среднемесячные значения температуры сточных вод

нагрузками на службу эксплуатации, в том числе по поводу переключения схем, гарантируя спокойную работу персонала⁴.

На рис. 2 приведен график среднемесячных температур рассматриваемых сточных вод.

РАСЧЕТНЫЙ ПЕРИОД

В заключение приведем некоторые результаты, полученные в ходе обработки входных данных описываемого примера, которые представляются интересными.

Для определения расчетного периода был проведен анализ рассчитанных нагрузок для холодного и теплого периодов:

- нагрузки по БПК₅ больше в теплый период, чем в холодный на 4 %;
- нагрузки по ХПК больше в теплый период, чем в холодный на 0,6 %;
- нагрузки по взвешенным веществам меньше в теплый период, чем в холодный на 22,8 %;

- нагрузки по аммонийному азоту меньше в теплый период, чем в холодный на 0,84 %;
- нагрузки по фосфору фосфатов больше в теплый период, чем в холодный на 28 %.

С учетом того, что лимитирующими параметрами при определении объемов сооружений биологической очистки являются ХПК/БПК₅, взвешенные вещества и общий азот, проведенный анализ показывает, что расчетным периодом является холодный период, как лимитирующий при расчете объемов аэротенков. С учетом того, что требуемое количество кислорода в аэротенках на аэробные биохимические процессы является функцией окисляемых количеств БПК₅ и азота, требуемое количество кислорода на биохимические процессы отличается на 0,56 % (в теплый период выше). Именно поэтому аэрационная система рассчитывалась на максимальную температуру. С учетом превышения нагрузки по фосфору фосфатов в теплый период над нагрузкой в холодный период, был сделан дополнительный перерасчет системы удаления фосфора для нагрузки по фосфору в теплый период.

⁴ В последующих публикациях будут описаны полученные результаты. – Примеч. авт.

В 2023 г.

**В СЛЕДУЮЩЕЙ ЧАСТИ
СТАТЬИ НА КОНКРЕТНЫХ
ПРИМЕРАХ БУДУТ
РАССМОТРЕНЫ РАСЧЕТЫ
АЭРОТЕНКОВ И ВТОРИЧНЫХ
ОТСТОЙНИКОВ.**



Автор считает правильным для технолога принимать свои решения, которые могут отличаться от рекомендаций [1], ведь, в конечном итоге, наша задача при проектировании не формально следовать документу, а получить надежно работающие сооружения, тем более, что [1] дает такую возможность, так как многие положения приводят ся не в качестве обязательного руководства к действию, а на уровне рекомендаций. ●

ЛИТЕРАТУРА

- 1. СП 32.13330.2018 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения, изм. 1, 2».**
- 2. Харьков О. В. Эффективная эксплуатация и расчет сооружений биологической очистки сточных вод. – Волгоград: Панорама, 2015.**
- 3. ИТС НДТ 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов.**