

УДК 628.315.2

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССОБМЕНА МЕЖДУ СТОЧНОЙ ЖИДКОСТЬЮ
И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДОЙКругликова¹ А.В., Амбросова² Г.Т., Рафальская³ Т.А.

«Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СибТРИН)»,
63008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113
E-mail: ¹ nastikrug@mail.ru, ² galina-ambrosova@ya.ru, ³ rafalskaya.ta@ya.ru

Аннотация. Статья посвящена одной из актуальных проблем, существующих в области очистки сточной жидкости, и связана с ухудшением качества очистки стоков в наиболее неблагоприятные для очистных сооружений канализации периоды года.

Предмет исследования: Такие изменения обусловлены тем, что очистка стоков осуществляется в открытых сооружениях, подверженных воздействию внешних природно-климатических факторов: температуры, ветра, влажности, атмосферного давления и атмосферных осадков.

Материалы и методы: Проведены обширные теоретические и экспериментальные исследования по изучению влияния климатических условий на работу открытых сооружений механической и биологической очистки сточной жидкости. Суть теоретических исследований заключалась в глубоком изучении математических моделей, описывающих как технологические, так и теплотехнические процессы, протекающие в открытых сооружениях: первичных и вторичных отстойниках, а также аэротенках. Экспериментальные исследования, посвященные изучению влияния природных факторов на фактические изменения температуры и качества очищенной сточной жидкости, проведены на двух функционирующих объектах, а именно: очистных сооружениях канализации (ОСК) городов Новосибирска и Искитима Новосибирской области. Выбранные комплексы по очистке сточной жидкости находятся в одной климатической зоне, но значительно отличаются производительностью, а значит и теплоёмкостью. Экспериментальные исследования проводились более четырёх лет и охватывают неоднократно все сезоны года.

Результаты: Экспериментальные исследования показали, что температура сточной жидкости на ОСК г. Новосибирск при прохождении основных сооружений в холодный период года меньше охлаждается, чем на ОСК г. Искитим, а в летний период сточная жидкость на ОСК г. Новосибирск прогревается сильнее, чем на сооружениях г. Искитим.

Выводы: Результаты исследований позволяют исключить ухудшение качества сточной жидкости, а также результаты использованы для разработки программного комплекса, предназначенного в помощь проектировщикам и эксплуатационному персоналу и позволяющего анализировать и прогнозировать работу очистных сооружений канализации.

Ключевые слова: температура, сточная жидкость, открытые сооружения, первичные и вторичные отстойники, аэротенки, тепломассообмен.

ВВЕДЕНИЕ

Очистные сооружения канализации (ОСК) Российской Федерации и стран СНГ, построенные в 1960-1980 гг. были запроектированы согласно СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», который рекомендовал для определения объемов сооружений принимать среднегодовую температуру сточной жидкости, а для расчёта требуемого расхода воздуха - среднюю температуру за тёплый период года. Однако, эти рекомендации не приемлемы как для суровых климатических условий Западной и Восточной Сибири, так и южных районов Российской Федерации (Краснодарский край, Крым), отличающихся сухим относительно продолжительным жарким летом. Неприемлемы они и для государств Средней Азии (Казахстан, Туркменистан, Узбекистан и Таджикистан), в больших и малых городах которых были построены комплексы по очистке сточных вод по рекомендациям этого же документа. Как воздействуют климатические факторы на работу открытых ОСК? В самый холодный период года

температура сточной жидкости в открытых сооружениях (первичных и вторичных отстойниках, а также аэротенках) опускается ниже расчётной, поэтому для этого периода года их объёмы оказываются недостаточными, что отражается на снижении эффекта очистки стоков.

На сегодня новый СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения» рекомендует «Значения минимальной и максимальной расчетной температуры сточных вод принимать как средние за две недели с соответствующими экстремальными значениями за три года наблюдений, а при отсутствии данных – по экстремальной величине из аналогичных данных для трех, близких по производительности поселений или городских округов, расположенных в одной климатической зоне, для аналогичного типа системы водоотведения» (п. 9.2.5.9). К сожалению, в настоящее время сооружения для крупных, средних и мелких городов уже построены по рекомендациям СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения», а вновь проектируемые комплексы по очистке сточных вод (компактные установки), предназначенные для

малых населенных пунктов, как правило, размещают в отапливаемых павильонах. Однако, следует отметить, что и для компактных установок также существует проблема ухудшения качества очистки стоков в холодный период года из-за чрезмерного их охлаждения в канализационных сетях, после смешения стоков из выгребных ям или из-за конструктивных недоработок компактных установок, вызывающих переохлаждение сточной жидкости в процессе её очистки.

На сегодня ситуация усугубляется ещё и тем, что количество стоков, поступающих на ОСК, сократилось в 1,5-2 раза, в сравнении с 70-ми годами прошлого столетия, а значит продолжительность нахождения сточной жидкости в открытых сооружениях увеличилось ровно во столько же раз. Выключить же какую-то часть открытых сооружений на функционирующих комплексах для сокращения продолжительности нахождения в них сточной жидкости для снижения степени влияния природно-климатических факторов не представляется возможным, так как одновременно с сокращением количества поступающих стоков, естественно, возросла концентрация загрязнений в 1,5-2 раза. То есть масса загрязнений, подлежащих переработке, в связи с фактическим сокращением расхода сточной жидкости не изменилась, поэтому требуется повышенная продолжительность её обработки.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

Авторами настоящей статьи проведены обширные теоретические и экспериментальные исследования по изучению влияния природно-климатических факторов на работу открытых сооружений механической (первичные отстойники) и биологической очистки (аэротенки и вторичные отстойники). Суть теоретических исследований заключается в глубоком изучении по литературным источникам математических моделей, описывающих как технологические, так и теплотехнические процессы, протекающие в открытых первичных и вторичных отстойниках, а также в аэротенках [1-11]. Литературный обзор показал, что достаточно глубоко изучены и описаны технологические процессы, протекающие в первичных и вторичных отстойниках, особенно много работ имеется по аэротенкам. В математических моделях первичных отстойников и аэротенков отражено влияние температуры сточной жидкости на процессы отстаивания и биохимического окисления органических веществ. Однако нет ни одного литературного источника, в котором бы отмечалось влияние климатических факторов на снижение температуры сточной жидкости в ходе её очистки и, как следствие, снижение качества очищаемой сточной жидкости. А сброс неочищенных, или не качественно очищенных сточных вод на рельеф или в водоем чреват опасностью инфекционных заболеваний, может стать причиной снижения содержания в

водах водоема растворенного кислорода и деградации водных экосистем. Хозяйственно – бытовые сточные воды содержат органические вещества и массу биогенных элементов (азот и фосфор), при попадании которых в водные экосистемы происходит интенсивное эвтрофирование. В результате эвтрофирования, в водах происходит нарушение процессов саморегуляции в биоценозах, в них начинают доминировать виды, наиболее приспособленные к изменившимся условиям вызывая цветение воды. В период цветения в водоеме повышается рН, падает содержание растворенного кислорода, возникают заморные явления у рыб, ухудшается качество питьевой воды [12].

Стоит отметить, что процессы тепло- и массообмена сложны по своей природе, так как связаны с движением вещества – конвективной, то есть молярной, и молекулярной диффузией и определяются законами аэродинамики, газодинамики, термодинамики, передачи энергии в форме тепла, передачи лучистой энергии и превращением ее в теплоту и наоборот [13].

В специальной литературе по теплообмену подробно описаны процессы, протекающие между телом и окружающей средой. Правда, некоторые математические модели ввиду крайней сложности и недостаточной изученности носят эмпирический характер, но и их вполне можно применить при описании процессов теплообмена между первичными, вторичными отстойниками и аэротенками. Так, с открытой поверхности сооружений, заполненных водой и относящихся практически к абсолютно черному телу, происходит не только испарение жидкости, но и излучение тепла в окружающую среду, а также потери или поступление тепла за счёт контакта сточной жидкости с окружающей средой. Имеется и можно применить к открытым сооружениям математическое описание потерь тепла в грунт через ограждающие конструкции (стенки и днища отстойников и аэротенков). Так как первичные, вторичные отстойники и аэротенки открытые, то в теплый период года в них поступает тепло солнечной энергии. Эту статью также можно определить по имеющимся математическим моделям, однако при этом погрешность будет достаточно высокой, так как энергия солнца поступает во время светового дня, ночью же открытые сооружения получают рассеянную энергию солнца. С помощью имеющихся математических моделей теплообмена можно описать даже сложнейшие процессы, осуществляемые в аэротенках. В это сооружение нагнетается воздух, поэтому охлаждение или нагревание сточной жидкости будет происходить не только из-за обычного контакта поверхности жидкости с окружающей средой, но и в результате постоянного и интенсивного обновления поверхности жидкости в аэротенке, вызванного аэрацией сточной жидкости, иногда довольно высокой. Более того, математические модели

теплообмена позволяют определить влияние нагнетаемого в аэротенк воздуха на изменение температуры иловой смеси как в холодный, так и теплый периоды года.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования, проводились на двух функционирующих объектах, а именно: очистных сооружениях канализации городов Новосибирска (рис. 1) и Искитима Новосибирской области [14, 15]. Выбор этих объектов объясняется тем, что они находятся в одной климатической зоне, однако значительно отличаются объёмом принимаемых стоков, а значит имеют разную теплоёмкость. Один комплекс в течение года принимает стоки в количестве 450-620 тыс. м³/сут, другой 30-50 тыс. м³/сут. Оба комплекса имеют открытые первичные и вторичные отстойники и аэротенки.



Рис.1. Очистные сооружения канализации города Новосибирска

Fig.1. Wastewater treatment plants of Novosibirsk

Работа на этих объектах была начата с детального обследования технического состояния ОСК, глубокого анализа данных лабораторно-производственного контроля, изучения проектной документации, после этого был выполнен поверочный расчёт первичных отстойников, аэротенков и вторичных отстойников на фактические расходы сточной жидкости и фактические показатели поступающих загрязнений. После выявления возможностей каждого комплекса, были выбраны точки замеров температуры сточной жидкости: для первичных отстойников это вход и выход, для аэротенка только выход, для вторичного отстойника также только выход сточной жидкости из сооружения.

Экспериментальные исследования были посвящены изучению влияния внешних природно-климатических факторов на температуру сточной жидкости в ходе её очистки в открытых сооружениях в различные периоды года. Как известно климат формируют несколько факторов: температура, давление, относительная и абсолютная влажность, скорости ветра, количество

выпадающих осадков, число солнечных дней. Из перечисленных факторов, в большей степени влияющих на изменение температуры сточной жидкости в открытых сооружениях, является температура наружного воздуха, если не принимать во внимание весенние дни с интенсивным таянием снега и осенние дни с затяжными дождями.

Как уже отмечалось, собранные статистические данные охватывают большой отрезок времени с неоднократным изучением всех сезонов года. Наибольшее количество замеров производилось в зимний период, так как для ОСК Западной и Восточной Сибири зимний период является самым неблагоприятным, в отличие от Крыма и Краснодарского края, где самым неблагоприятным периодом является знойное лето, когда из-за чрезмерного нагрева сточной жидкости резко снижается растворимость кислорода воздуха в аэротенках. Кстати, перекрытие первичных отстойников, которое принято на Курьяновской станции аэрации (рис. 2) для исключения загрязнения воздушного бассейна неприятно пахнущими и канцерогенными газами, снижает степень охлаждения сточной жидкости на стадии механической очистки сточной жидкости за счёт исключения основной статьи потерь тепла, расходуемого на испарение сточной жидкости с открытой поверхности.

А перекрытие сооружений механической и биологической очистки стоков ОСК города Сочи (рис. 3), также предусмотренное для предупреждения распространения неприятного запаха, с одной стороны, исключает попадание прямых солнечных лучей, а значит снижает степень нагрева сточной жидкости в жаркий период года, однако, на наш взгляд, перекрытие может породить другие проблемы..

Во-первых, перекрытие создает парниковый эффект, характеризующийся высокой температурой и высокой влажностью воздуха.



Рис.2. Блок первичных отстойников Курьяновской станции аэрации

Fig.2. Block of primary tanks of the Kuryanovskaya aeration station



Рис.3. Очистные сооружения канализации города Сочи

Fig.3. Wastewater treatment plants of Sochi

Такие условия неблагоприятны как для обслуживающего персонала, так и для работоспособности системы автоматизации, повреждение которой происходит из-за наличия в воздухе смеси паров воды с сероводородом, аммиаком, индолом и меркаптанами. Во-вторых, перекрытие аэротенков исключает дополнительное насыщение сточной жидкости кислородом в результате непосредственного контакта сточной жидкости с наружным воздухом. В-третьих, элементы сооружений, выполненные из черного металла, будут подвергаться повышенной коррозии

Как на Курьяновской станции аэрации, так и на ОСК города Сочи устройство перекрытий вынужденные меры [16, 17]. Так, в непосредственной близости от Курьяновской станции аэрации находится рабочий посёлок Курьяново, где проживает в основном

обслуживающий персонал этого комплекса, естественно, перекрытие первичных отстойников создает более комфортные условия проживания в этом посёлке. Сочи – не только курортный город, но и место, где в 2014 году проводились зимние Олимпийские игры.

Авторы настоящей статьи не настаивают на строительстве перекрытий над открытыми сооружениями. Исключение составляют населенные пункты районов Севера, или районов, приравненных к Северу, а также населенные пункты Республики Саха (Якутия) с вечной мерзлотой, где устройство отапливаемых павильонов обязательно. В остальных районах можно устраивать открытыми первичные и вторичные отстойники, а также аэротенки, но при их проектировании необходимо в обязательном порядке учитывать снижение температуры сточной жидкости в ходе её очистки в самый неблагоприятный холодный и жаркий периоды года. Для компактных установок желательно применение павильонов даже для районов с мягким климатом в связи с тем, что сточная жидкость в малых сооружениях, обладающих малой теплоёмкостью, очень быстро охлаждается даже при относительно низких значениях минусовой температуры наружного воздуха.

Теоретические и экспериментальные исследования позволили авторам установить, используя законы теплообмена для открытых сооружений, заполненных водой, статьи потерь и поступления тепла. На рис. 4 показаны статьи потерь и поступления тепла открытых сооружений для холодного периода года.

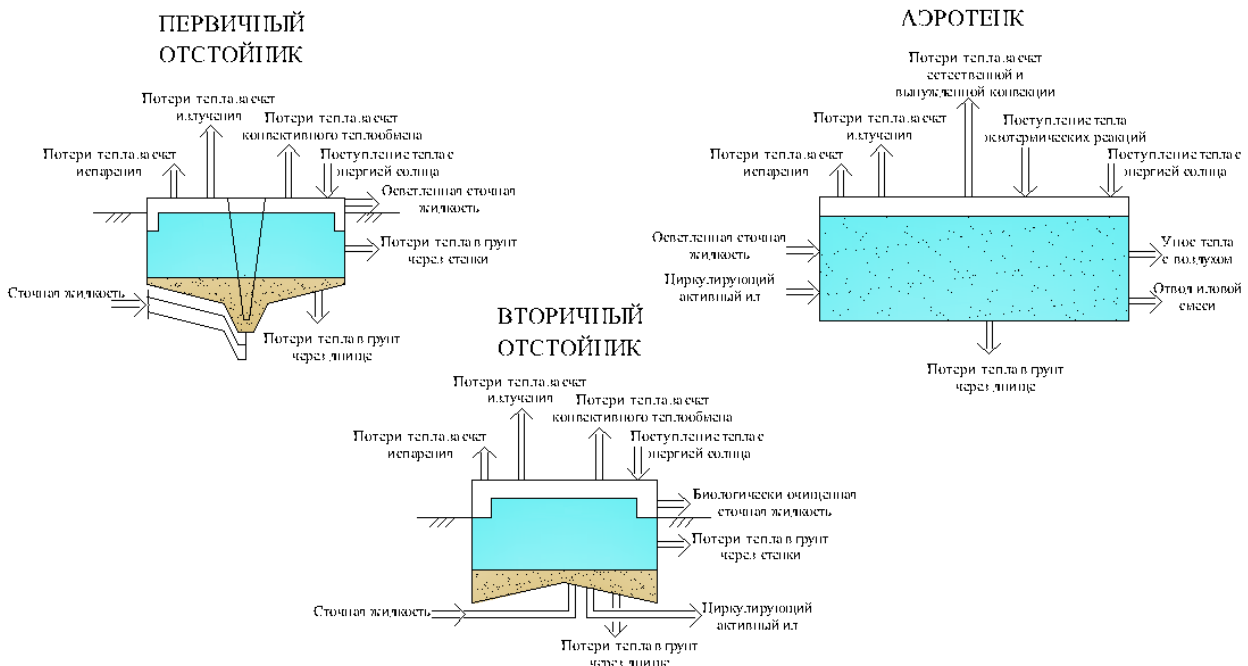


Рис.4. Статьи потерь и поступления тепла в открытых сооружениях в холодный период года
Fig.4. Items of losses and heat input in open wastewater treatment plants the cold season

В теплый период года, когда температура сточной жидкости будет ниже температуры наружного воздуха, сточная жидкость будет нагреваться в первичном и вторичном отстойниках за счёт естественной конвекции и излучения, а в аэротенке за счёт естественной и вынужденной конвекции, излучения и пропуска через аэротенк теплого воздуха. Если температура сточной жидкости в это время года будет выше температуры наружного воздуха, то сточная жидкость по этим статьям будет терять тепло, а значит она будет охлаждаться.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Результаты экспериментальных исследований показали, что температура сточной жидкости на ОСК г. Новосибирск при прохождении основных сооружений (первичных отстойников, аэротенков и вторичных отстойников) в холодный период года при температуре минус 33°С охлаждается на 1,4°С,

$$\Sigma\theta = \theta_{\text{ст.жид}} + \theta_{\text{отс}} + \theta_{\text{сол}} + \theta_{\text{конв}} - \theta_{\text{исп}} - \theta_{\text{гр}} - \theta_{\text{изл}}, \text{Вт}, \quad (1)$$

$$\Sigma\theta = \theta_{\text{ст.жид}} + \theta_{\text{аэр}} + \theta_{\text{цаи}} + \theta_{\text{экз}} + \theta_{\text{сол}} + \theta_{\text{конв}}^1 - \theta_{\text{исп}} - \theta_{\text{гр}} + \theta_{\text{изл}}, \text{Вт}, \quad (2)$$

где $\theta_{\text{ст.жид}}$ – тепло, поступающее со сточной жидкостью, эта статья поступления тепла будет с положительным знаком как в холодный, так и теплый периоды года, разница заключается лишь в абсолютных значениях тепла; летом его будет больше, Вт; $\theta_{\text{отс}}$ или $\theta_{\text{аэр}}$ – тепло сточной жидкости, находящейся в отстойнике или аэротенке, эта статья поступления тепла также будет положительной как в холодный, так и теплый периоды года. разница заключается лишь в абсолютных значениях тепла; летом его будет больше, Вт; $\theta_{\text{цаи}}$ – тепло циркулирующего активного ила, возвращаемого в аэротенк для осуществления технологического процесса, эта статья поступления тепла также будет положительной как в холодный, так и теплый периоды года. разница заключается лишь в абсолютных значениях тепла; летом его будет больше, Вт; $\theta_{\text{экз}}$ – тепло экзотермических реакций, то есть тепло, теряемое в окружающую среду микроорганизмами активного ила, осуществляющими аэробное окисление органических веществ. Вт; $\theta_{\text{сол}}$ – тепло солнечной энергии, поступающее в открытое сооружение, эта статья поступления тепла также будет положительной как в холодный, так и теплый периоды года, разница заключается лишь в абсолютных значениях тепла; летом его будет значительно больше, а в зимний период в пасмурные или туманные дни оно может быть принято равным нулю из-за ничтожно малой величины, Вт; $\theta_{\text{конв}}$ – тепло конвективного теплообмена между сточной жидкостью и

а на ОСК г. Искитим при такой же температуре наружного воздуха температура сточной жидкости снижается уже на 3°С, связано это с малой теплоёмкостью открытых сооружений. В летний период температура сточной жидкости на ОСК г. Новосибирск при температуре наружного воздуха +30°С прогревается на 1,0-1,5°С, а на сооружениях г. Искитим на 0,5-0,8°С; меньшая степень прогрева сточной жидкости на этом объекте объясняется более глубокими сооружениями, которые при прочих равных условиях имеют меньшую площадь контакта сточной жидкости с наружным воздухом. Кстати, если бы первичные и вторичные отстойники в г. Искитим имели такую же глубину, как и в Новосибирске, то снижение температуры в зимний период была выше 3°С.

Баланс тепла в теплый и холодный периоды года определяется для первичных отстойников по формуле 1, для аэротенков по формуле 2:

окружающей средой, при температуре сточной жидкости больше температуры окружающего воздуха, а такое может наблюдаться и в теплый период года, в формуле 1 эта составляющая будет иметь знак минус и наоборот, а в формуле 2 составляющая конвективного теплообмена представлена естественной конвекцией ($\theta_{\text{конв}}^{\text{ест}}$), вынужденной конвекцией ($\theta_{\text{конв}}^{\text{вын}}$) и конвекцией за счёт барботирования воздухом ($\theta_{\text{конв}}^{\text{бар}}$), нагнетаемым в аэротенк ($\theta_{\text{конв}}^1 = \theta_{\text{конв}}^{\text{ест}} + \theta_{\text{конв}}^{\text{вын}} + \theta_{\text{конв}}^{\text{бар}}$), Вт; $\theta_{\text{исп}}$ – тепло, затрачиваемое на испарение сточной жидкости с открытой поверхности, в любое время года эта статья расхода тепла в формулах 1 и 2 всегда будет иметь знак минус, Вт; $\theta_{\text{гр}}$ – тепло, теряемое в грунт через стенки и днища сооружения, в любое время года эта статья теряемого тепла будет отрицательной, разница состоит лишь в абсолютных значениях этих потерь; в теплый период года потери тепла в грунт настолько малы, что их можно принять равными нулю, Вт; $\theta_{\text{изл}}$ – излучение тепла в окружающую среду с поверхности абсолютно черного тела, при температуре сточной жидкости больше температуры окружающего воздуха, а такое может наблюдаться и в теплый период года, в формулах 1 и 2 эта составляющая будет иметь знак минус и наоборот, при температуре сточной жидкости, равной температуре наружного воздуха эта составляющая будет равна нулю, Вт.

Количество тепла, теряемое за время нахождения сточной жидкости в сооружении, определяется:

$$\Theta = 3600 \cdot \tau_a \cdot \theta = m_w \cdot c_w \cdot \Delta t = \rho_w \cdot V_w \cdot c_w \cdot \Delta t, \text{Дж}, \quad (3)$$

где τ_a – время нахождения сточной жидкости в сооружении, ч; ρ_w – плотность воды, кг/м³;

V_w – объем сточной жидкости, находящейся в первичном или вторичном отстойниках, м³;
 c_w – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°К).

Выразив из формулы 3 Δt , получим уравнение для определения снижения или повышение

$$\Delta t = \frac{3600 \cdot \tau_a \cdot \theta}{\rho_w \cdot V_w \cdot c_w}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4)$$

температуры сточной жидкости как для общих теплопотерь, так и каждой статьи отдельно:

ВЫВОДЫ

Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы для разработки программного комплекса, предназначенного в помощь проектировщикам и эксплуатационному персоналу и позволяющего анализировать и прогнозировать работу очистных сооружений канализации в зависимости от их технологических параметров и природно-климатических факторов района проектирования объекта, что исключает ухудшение качества сточной жидкости в любое время года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водоотведение / Ю.В. Воронов, Е.В. Алексеев, Е.А. Пугачев, В.П. Саломеев; под общ. ред. Ю.В. Воронова. – М.: АСВ, 2014. – 416 с.
2. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: АСВ, 2002. – 703 с.
3. Пугачев Е.А. Очистка городских сточных вод мегаполиса: монография. – М.: АСВ, 2013. – 136 с.
4. Хенце М. Очистка городских сточных вод: пер. с англ. / под ред. С.В. Калужского. М.: Мир, 2006. 480 с. [Mogens Henze. Urban wastewater treatment, 1992.].
5. Амерханов Р.А., Драганов В.Х. Теплотехника: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 432 с.
6. Шеломков А.С., Шеломков С.А. Руководство по проектированию канализационных очистных сооружений городских сточных вод и близких к ним по составу сточных вод промышленных предприятий. – М.: ОАО «МосводоканалНИИ проект», 2014. – 406 с.
7. Шаптала М.В., Шаптала Д.Е. Разработка математической модели процессов тепломассообмена открытого плавательного бассейна // Наука и прогресс транспорта. – 2014. – №6 (54). – С. 113-118.
8. Ивин В.Ф., Боднарь Б.Е. Энергосбережение при эксплуатации открытых плавательных бассейнов // Наука и прогресс транспорта. – 2013. – №5(47). – С. 40-46.
9. Баженов В.И., Эпов А.Н., Носкова И.А. Математическое моделирование объекта очистки сточных вод // Экологический вестник России. – 2011. – №5. – С. 1-10.
10. Лабай В.И. Тепломассообмен. Львов: Триада Плюс, 1998. 256 с.
11. Мусаелян С.М., Потоловский Р.В., Сахарова Н.А., Радченко О.П. Математическое моделирование объекта очистки сточных вод // Вестник ВГАСУ. – 2012. – №1. – С. 1-4.

12. Штонда Ю.И., Громова А.О., Дроздова А.С. Исследование процессов биологической очистки сточных вод на существующих локальных канализационных очистных сооружениях // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – №14 (66). – С. 121-125.

13. Стамбекова Г.А. Анализ процессов теплообмена при естественной и вынужденной конвекции // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2017. – №10. – С. 32-35.

14. Кругликова А.В. Влияние климата на работу очистных сооружений канализации г. Новосибирска // Вода и экология: проблемы и решения. – 2020. – №2 (82). – С. 37-44.

15. Кругликова А.В. Совершенствование учета влияния природных факторов при эксплуатации очистных сооружений канализации // Известия вузов. Строительство. – 2019. – №12. – С. 56-63.

16. Стрельцов С.А., Белов Н.А., Климова Л.А., Пшенко Н.Л. Реконструкция Ново-Курьяновских очистных сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. – 2014. – №7. – С. 34-39.

17. Смирнов А.В., Богатырев М.М., Иванова Ю.А. Адлерские очистные сооружения канализации // Водоснабжение и санитарная техника. – 2018. – №8. – С. 31-38.

REFERENCES

1. Vodootvedenie [Water disposal] / Yu.V. Voronov, E.V. Alekseev, E.A. Pugachev, V.P. Salomeev; edited by Yu. V. Voronov. – Moscow: ACV, 2014. – 416 p.
2. YAKovlev S.V., Voronov Yu.V. Vodootvedenie i ochistka stochnyh vod [Wastewater disposal and treatment]. – Moscow: ASV, 2002. – 703 p.
3. Pugachev E.A. Ochistka gorodskih stochnyh vod megapolisa. Monografiya [Purification of urban wastewater of the megapolis. Monograph]. – Moscow: ASV, 2013. – 136 p.
4. Henze M. Ochistka stochnykh vod [Wastewater treatment]: translated from English / edited by S.V. Kalyuzhsky. – Moscow: Mir, 2006. – 480 p.
5. Amerkhanov R.A., Draganov V.Kh. Teplotekhnika. Uchebnik dlya vuzov [Heat engineering. Textbook for universities]. – Moscow: Energoatomizdat, 2006. – 432 p.
6. SHelomkov A.S, SHelomkov S.A. Rukovodstvo po proektirovaniyu kanalizacionnyh ochistnyh sooruzhenij gorodskih stochnyh vod i blizkih k nim po sostavu stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij [Guidelines for the design of sewage treatment plants of urban wastewater and close to them on the composition of industrial wastewater]. – Moscow: Open JSC «MosvodokanalNIiproekt», 2014. – 406 p.

7. Shaptala M.V. and Shaptala D.E. Mathematical model development of heat and mass exchange processes in the outdoor swimming pool. *Nauka i progress transporta.* – 2014. – № 6 (54). – Pp. 113-118. (in Russian).
8. Ivin V.F., Bodnar B.E. Energy saving in the operation of outdoor swimming pools. *Nauka i progress transporta.* – 2013. – № 5 (47). – Pp. 40-46. (in Russian).
9. Bazhenov V.I., Epov A.N., Noskova I.A. Mathematical modeling of a wastewater treatment facility. *Ekologicheskij vestnik Rossii.* – 2011. – № 5. – Pp. 1-10. (in Russian).
10. Labay V.I. *Teplomassoobmen [Heat and mass transfer]*. Lviv: Triada Plyus, 1998. – 256 p.
11. Musaelyan S.M., Potolovsky R.V., Sakharova N.A., Radchenko O.P. Mathematical modeling of a wastewater treatment facility. *VGASU Bulletin.* – 2012. – № 1. – Pp. 1-4. (in Russian).
12. Shtonda Yu.I., Gromova A.O., Drozdova A.S. Investigation of biological wastewater treatment processes at existing local sewage treatment plants. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'.* – 2019. – № 14 (66). – Pp. 121-125. (in Russian).
13. Stambekova G.A. Analysis of heat exchange processes in natural and forced convection. *Nauka, novye tekhnologii i innovacii Kyrgyzstana.* – 2017. – № 10. – Pp. 32-35. (in Russian).
14. Kruglikova A.V. Influence of climate on the operation of sewage treatment facilities in Novosibirsk. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya.* – 2020. – № 2(82). – Pp. 37-44. (in Russian).
15. Kruglikova A.V. Improving the consideration of the influence of natural factors in the operation of sewage treatment plants. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo.* – 2019. – № 12. – Pp. 56-63. (in Russian).
16. Streltsov S.A., Belov N.A., Klimova L.A., Pshenko N.L. Reconstruction of Novo-Kuryanovsk sewage treatment plants. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika.* – 2014. – № 7. – Pp. 34-39. (in Russian).
17. Smirnov A.V., Bogatyrev M.M., Ivanova Yu.A. Adler sewage treatment plants. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika.* – 2018. – № 8. – Pp. 31-38. (in Russian).

PROCESSES OF HEAT AND MASS TRANSFER BETWEEN THE LIQUID WASTE
AND THE ENVIRONMENT

Kruglikova¹ A.V., Ambrosova² G.T., Rafalskaya³ T.A.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), 630008, Novosibirsk, Leningradskaya street, 113
E-mail: ¹ nastikrug@mail.ru, ² galina-ambrosova@ya.ru, ³ rafalskaya.ta@ya.ru

Abstract. The article is devoted to one of the urgent problems existing in the field of wastewater treatment. It is associated with the deterioration of the wastewater treatment quality of the year for wastewater treatment plants in the most unfavorable periods.

Subject: Such changes are due to the fact that wastewater treatment is carried out in open structures under external climatic factors: temperature, wind, humidity, atmospheric pressure and precipitation.

Materials and methods: The authors of this scientific paper conduct extensive theoretical and experimental researches to study the influence of climatic conditions on the open plants operation for mechanical and biological wastewater treatment. The essence of theoretical research was in-depth study of mathematical models describing both technological and thermal processes occurring in open structures: primary and secondary tanks, as well as aerotanks. Experimental studies devoted to the study of natural factors influence on the actual changes in temperature and quality of treated wastewater were carried out at two functioning facilities, namely: wastewater treatment plants (WWTPs) of the cities of Novosibirsk and Iskitim of the Novosibirsk region. The selected wastewater treatment complexes are located in the same climatic zone, but they differ significantly in performance, and therefore in heat capacity. Experimental studies have been conducted for more than four years and covered repeatedly all seasons of the year.

Results: Experimental studies shown that the temperature of the waste liquid at the Novosibirsk WWTPs during the passage of the main structures in the cold season is less cooled than at the Novosibirsk WWTPs, Iskitim. In the summer, the wastewater at the Novosibirsk WWTPs warms up more than at the Iskitim plants.

Conclusions: Our research results make it possible to exclude deterioration in the quality of wastewater. As well, as the results were used to develop a software package designed to help designers and operational personnel and to analyze and predict the operation of wastewater treatment plants.

Key words: temperature, liquid waste, open plants, primary and secondary tanks, aerotanks, heat and mass transfer.