

М. А. САИЙД
Н. С. СЕРПОКРЫЛОВ
В. В. НЕЛИДИН

ВЛИЯНИЕ ТИПА ЗАГРУЗКИ НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СПОСОБНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОГРУЖНОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ БИОФИЛЬТРА

INFLUENCE OF THE BIOMASS CARRIER TYPE
ON THE OXYGEN TRANSFER RATE OF THE MODIFIED
SUBMERSIBLE ROTATING BIOFILTER

Модифицированный погружной вращающийся биофильтр разработан и запатентован с целью повышения эффективности очистки и качества очищенной сточной воды малых населенных пунктов в Сирии за счет увеличения скорости массообмена и окислительной способности погружного вращающегося биофильтра барабанного типа без необходимости использования дополнительных элементов аэрации. Результат сравнения влияния двух типов загрузки на окислительную способность показывает, что наивысшее значение окислительной способности при использовании первого загрузочного материала (1) составляло $409 \text{ г/м}^3\cdot\text{ч}$ при заполнении барабана на 60 %, скорости вращения 15 об/мин и глубине погружения 35 %. В то время как максимальное значение при использовании второго загрузочного материала (2) было $518,95 \text{ г/м}^3\cdot\text{ч}$ при заполнении барабана на 90 %, скорости вращения 15 об/мин и глубине погружения 15 %. Сделан вывод, что изменение формы загрузки и её плотности существенно влияет на окислительную способность биофильтра. Кроме того, установлено, что изменение формы загрузки требует изменения таких технологических параметров, как процент заполнения барабана, глубина погружения и скорость вращения.

Ключевые слова: модифицированный погружной вращающийся биофильтр, окислительная способность, загрузочный материал, сточная вода, Сирия

The modified submersible rotating biofilter MSRБ was developed and patented to improve the efficiency and quality of treated wastewater from small settlements in Syria by increasing the mass transfer rate and oxygen transfer rate of the drum-type rotating biofilter without the need for additional aeration elements. The result of comparing the effect of two types of biomass carrier on the oxygen transfer rate OTR shows that the highest value of the OTR when using the first biomass carrier (1) was $409 \text{ g/m}^3\cdot\text{h}$ with a drum filling percentage of 60%, a rotation speed of 15 rpm and an immersion depth of 35%. While the maximum value when using the second biomass carrier (2) was $518.95 \text{ g/m}^3\cdot\text{h}$ with a drum filling percentage of 90%, a rotation speed of 15 rpm and an immersion depth of 15%. It can also be concluded that a change in the shape of the biomass carrier, as well as its density, significantly affects the OTR of the biofilter. In addition, changing the shape of the biomass carrier requires changing other technological parameters, such as the filling percentage of the drum, the depth of immersion and the rotation speed.

Keywords: modified submersible rotating biofilter, oxygen transfer rate, biomass carrier, wastewater, Syria.

Введение

В результате развития промышленности, роста населения в мире, высокого уровня урбанизации повышается спрос на пресную воду, увеличивается количество образующихся сточных вод, растет загрязнение окружающей среды [1, 2].

Правительство Сирии прикладывает большие усилия в области очистки и повторного использования сточных вод, особенно для целей орошения, поскольку Сирия является страной с ограниченными водными ресурсами. Кроме того, результаты экологической оценки крупных рек Сирии показали значительное загрязнение из-за неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод, а также промышленных и коммерческих сточных вод [3]. Поэтому в десятом и одиннадцатом пятилетних планах государство выделило огромный бюджет на развитие сектора канализации, особенно в малых населенных пунктах, поскольку в Сирии всегда существовал дефицит очистных сооружений [4].

Из анализа литературных данных [5] видно, что 98 % сточных вод малых населенных пунктов в Сирии очищаются методом активного ила с продленной аэрацией. Оценка показателей эффективности работы этих сооружений показала, что они не соответствуют нормативам очистки сточных вод ввиду ряда недостатков: высокое потребление электроэнергии, большие затраты на техническое обслуживание насосов ила и аэрационного оборудования, некачественное управление технологическими процессами из-за недостатка квалифицированных кадров и т. д. Для строительства очистных станций с продленной аэрацией требуются значительные земельные площади, поскольку объем аэротенков в 3–6 раз больше, чем при обычной системе очистки активным илом. При этом количество избыточного ила относительно велико и нет четкой стратегии для его утилизации [6].

Согласно руководству по методологии изучения и выбора технологии очистки сточных вод, разработанному Министерством водных ресурсов Сирии, в котором определены наиболее доступные методы очистки сточных вод в стране, метод погружных вращающихся биофильтров (далее ПВБ) является приоритетным вариантом, который обеспечивает потребности малых населенных пунктов благодаря следующим преимуществам: относительно малые занимаемые площади и простота в строительстве и эксплуатации; устойчивость к колебаниям загрязнений и токсическим нагрузкам; компактность погружного биофильтра, возможность индустриального изготовления его ротора, а также всего сооружения в промышленных ус-

ловиях; по сравнению с методом очистки активным илом затраты электроэнергии в 3–5 раз ниже, объем избыточной биопленки из вторичного отстойника в 5–10 раз меньше; возможность применения этого метода в качестве центрального или децентрализованного очистного сооружения, что позволяет снизить затраты на строительство протяженных канализационных линий и потребность в больших земельных площадях [7].

Погружные вращающиеся биофильтры барабанного типа с подвижной загрузкой были успешно использованы в качестве заменителей дисков. Такие загрузки обеспечивают большую площадь для прикрепления биопленки в пределах того же размера реактора ПВБ, способствуя более высокой эффективности массообмена из-за повышенной турбулентности. Кроме того, они имеют низкое энергопотребление, а стоимость изготовления почти на треть меньше, чем у дисков.

В качестве наполнителей барабанов, ввиду доступности на рынке и простоты изготовления используются различные полимерные материалы, такие как кольца и цилиндрические пластмассовые элементы разных размеров. Однако большинство из них имеют относительно низкую площадь поверхности в диапазоне от 150 до 220 м²/м³ [6].

Хотя ПВБ имеют существенные преимущества, они не лишены недостатков. Наиболее важные из них – конструктивные факторы, которые отрицательно влияют на скорость переноса кислорода, включая относительно большую длину барабана и прямоугольные стены внутри него, которые препятствуют перемещению загрузочного материала и равномерному переносу кислорода во всех точках внутри барабана. Кроме того, процесс массообмена между загрязнениями сточных вод и биомассой загрузки происходит только во время вращения барабана внутри резервуара, что снижает интенсивность процесса очистки, тогда как сточные воды внутри резервуара часто аэрируются только посредством контакта с кислородом воздуха, что также снижает окислительную способность.

Исходя из вышесказанного, нами был разработан и запатентован (патент РФ № 2 720 150 С1) [8] модифицированный погружной вращающийся биофильтр (далее МПВБ) с целью повышения эффективности очистки и качества очищенной воды за счет увеличения скорости массообмена и окислительной способности ПВБ барабанного типа без необходимости использования дополнительных элементов аэрации, что снижает потребление электроэнергии. Это достигается за счет выполнения вентиляци-

онных зазоров в корпусе биофильтра, а также за счет установления черпалок по периметру биофильтра и использования мобильных загрузочных материалов с большой площадью поверхности. Статья посвящена исследованию влияния видов загрузочного материала носителя на окислительную способность МПВБ.

Методика исследования

Влияние загрузочного материала на модели МПВБ исследовано путем сравнения показателей окислительной способности при использовании двух типов носителей биомассы при заполнении барабана на 60, 75, 90 %, скорости вращения 1, 5, 10, 15 об/мин и глубине погружения корпуса барабана в жидкость 15, 25, 35, 45 %.

Первый тип плавающей биоагрузки ХЕL-X (НХF13KLL +) имеет цилиндрическую форму диаметром 13 мм и длиной 12 мм, ее защищенная площадь поверхности составляет 806 м² / м³, изготовлена из переработанных гранул ПЭВП (черного цвета). Второй тип плавающей биоагрузки ХЕL-X (HEL-X flake 30) имеет форму биочипсов диаметром 30 мм и толщиной 1,1 мм, ее активная площадь поверхности составляет более 5000 м² / м³, изготовлена из первичных гранул ПЭВП (белого цвета) [8].

Модель МПВБ представлена на рис. 1. На рис. 2 показаны типы загрузок.

Лабораторная модель МПВБ состоит из барабана в виде двух соседних цилиндров, диаметр барабана D = 32 см, длина L = 23 см. Все элементы фильтра изготовлены из акрила. Ребра и опорные цилиндры вместе образуют каркас корпуса барабана. На каждый цилиндр наложена пластмассовая сетка 12×12 мм, которая разделяется на восемь ячеек, также выполненных из пластмассовой сетки и разделенных друг от друга вентиляционными зазорами. Ячейки заполнены мобильными загрузочными материалами с большой площадью поверхности.

По внешнему периметру барабана устанавливаются 16 черпалок, выполненных из фанеры. Каркас барабана установлен на вал вращения, выполненный из алюминия диаметром 30 мм. Вращение барабана осуществляется механическим двигателем «G-MOTOR GK44», управление вращением ведется с помощью электрической панели, содержащей реверс направления вращения, потенциометр для регулирования частоты вращения, амперметр, вольтметр, электросчетчик и электрический выключатель (рис. 3 и 4).

Расчет окислительной способности производился методом неустановившегося режима аэра-

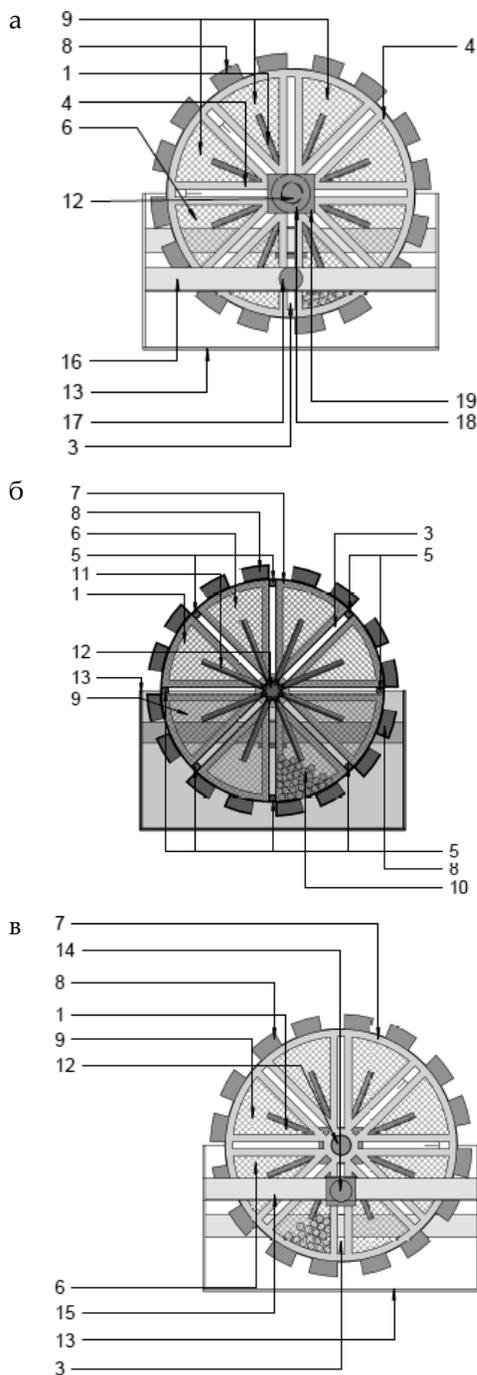


Рис. 1. Модифицированный погружной вращающийся биофильтр:

а – вид сзади; б – поперечное сечение; в – вид спереди [8]; 1 – барабан биофильтра; 2 – цилиндры биофильтра; 3 – вентиляционный зазор; 4 – опорное кольцо; 5 – соединительные ребра; 6 – сетка; 7 – корпус барабана; 8 – черпалка; 9 – ячейка; 10 – загрузочный материал; 11 – стержень; 12 – вал вращения; 13 – резервуар; 14 – труба подачи воды; 15 – лоток распределения воды; 16 – лоток отвода воды; 17 – труба отвода воды; 18 – механический двигатель; 19 – потенциометр

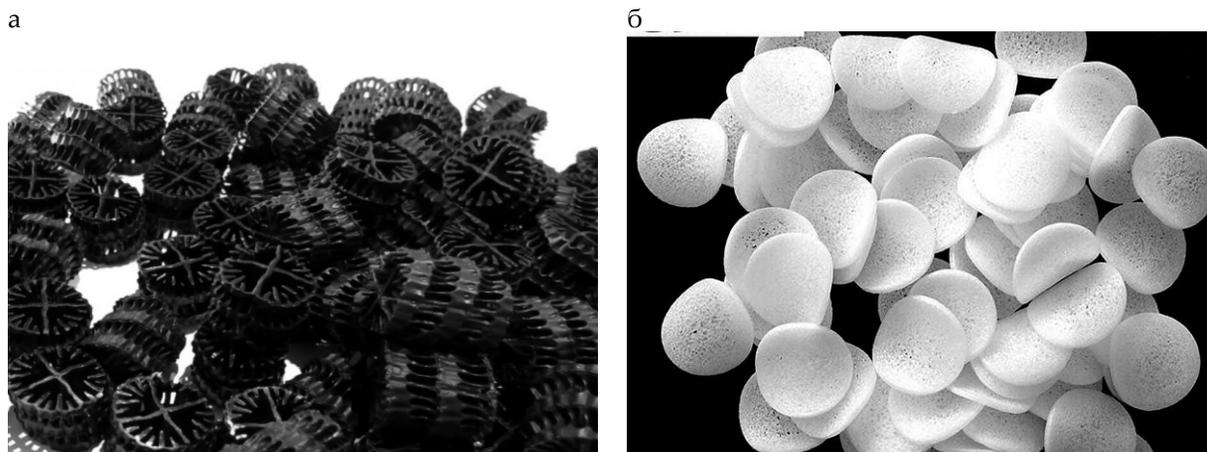


Рис. 2. Типы биоагрузки: а – первый загрузочный материал; б – второй загрузочный материал

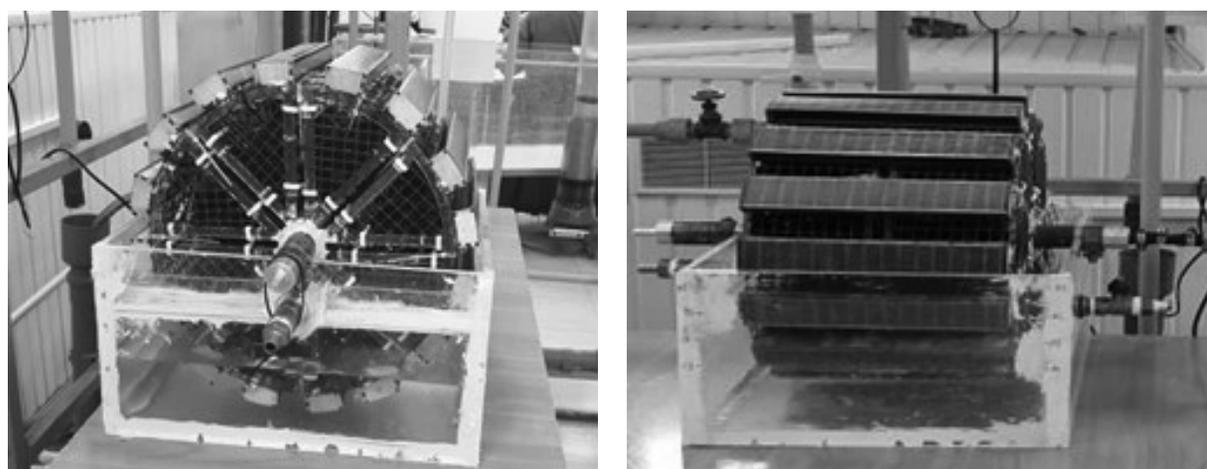


Рис. 3. Общий вид модели лабораторной установки МПВБ

ции водопроводной воды с добавлением сульфита натрия (Na_2SO_3) с последующей реаэрацией до уровня насыщения [9]. Сульфит натрия добавляли в воду после его растворения в отдельном баке-смесителе перед его введением в испытательный резервуар; после окончания каждого опыта вода полностью отводилась из резервуара. Перенос кислорода в объем воды контролировали в течение периода реаэрации путем измерения концентрации растворенного кислорода в нескольких точках, выбранных для наилучшего представления содержимого резервуара.

Данные, полученные в каждой точке определения, затем анализируются с помощью упрощенной модели массопереноса для определения объемного коэффициента массопереноса $k_L a$ и концентрации O_2 в установившемся режиме насыщения C_∞^* . Основная модель задается уравнением [9]:

$$C = C_\infty^* - (C_\infty^* - C_0) \exp(-k_L a \cdot t), \quad (1)$$

где C – концентрация растворенного кислорода O_2 , мг/л;
 C_∞^* – экспериментальное значение концентрации насыщения O_2 в установившемся режиме при приближении времени к бесконечности, мг/л;
 C_0 – концентрация O_2 в нулевое время, мг/л;
 $k_L a$ – экспериментальное значение объемного коэффициента массопереноса, t^{-1} .

График зависимости $\ln(C_\infty^* - C)$ от времени имеет наклон $k_L a$ в единицах взаимного времени (мин^{-1} , ч^{-1} или сут^{-1}). После экспериментального определения значения $k_L a$ и C_∞^* окислительная способность ОС ($\text{г/м}^3 \cdot \text{ч}$) рассчитывается по формуле

$$\text{ОС} = \partial c / \partial t = k_L a (C_\infty^* - C_0). \quad (2)$$

Эти значения корректируются затем к стандартным условиям (3) и (4). Стандартная окислительная способность СОС представляет собой



Рис. 4. Электрическая панель установки МПВБ

окислительную способность в чистой воде, когда концентрация O_2 равна нулю во всех точках в объеме воды, температура воды составляет $20\text{ }^\circ\text{C}$, а атмосферное давление равно $1,00\text{ атм}$ ($101,3\text{ кПа}$) по формуле (5):

$$k_i a_{20} = k_a \cdot \theta^{(20-T)}, \quad (3)$$

$$C_{\infty 20}^* = C_{\infty}^* (1/\tau \Omega), \quad (4)$$

$$COC = k_i a_{20} \cdot C_{\infty 20}^* \quad (5)$$

где $k_i a_{20}$ – значение, скорректированное для $20\text{ }^\circ\text{C}$; θ – эмпирический температурный поправочный коэффициент. Должен приниматься равным $1,024$, если не доказано, что он имеет

другое значение для системы аэрации и испытательного резервуара;

$C_{\infty 20}^*$ – значение концентрации насыщения O_2 в установившемся режиме, скорректированное для $20\text{ }^\circ\text{C}$, и стандартное атмосферное давление $1,00\text{ атм}$ ($101,3\text{ кПа}$);

τ – температурный поправочный коэффициент C_{st}^* / C_{s20}^* ;

C_{st}^* – табличное значение концентрации насыщения поверхности растворенного кислорода, мм^3 , при температуре испытания, стандартное общее давление $1,00\text{ атм}$ ($101,3\text{ кПа}$) и относительная влажность 100 \% [10];

C_{s20}^* – табличное значение концентрации насыщения поверхности растворенного кислорода, мм^3 , при $20\text{ }^\circ\text{C}$, стандартном общем давлении $1,00\text{ атм}$ ($101,3\text{ кПа}$) и относительной влажности 100 \% [10];

Ω – поправочный коэффициент давления P_b / P_s для резервуаров до 20 футов ($6,1\text{ м}$);

P_b – барометрическое давление на испытательном месте во время испытания, лЛ^{-2} ;

P_s – стандартное атмосферное давление $1,00\text{ атм}$ ($101,3\text{ кПа}$), лЛ^{-2} ;

T – температура воды во время эксперимента, $^\circ\text{C}$.

Основные результаты

На рис. 5–16 показаны результаты сравнения СОС ($\text{г/м}^3\cdot\text{ч}$) при использовании двух типов загрузки (1) и (2), заполнении барабана на 60, 75, 90 %, скорости вращения 1, 5, 10, 15 об/мин и глубине погружения 15, 25, 35, 45 %.

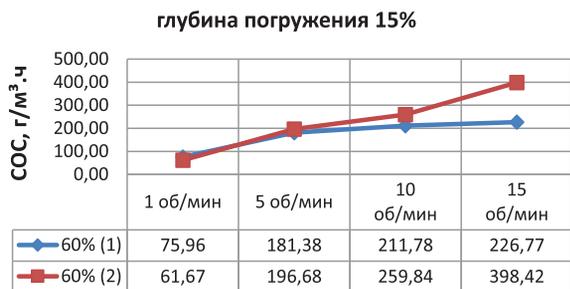


Рис. 5. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 60 % и погружении 15 %

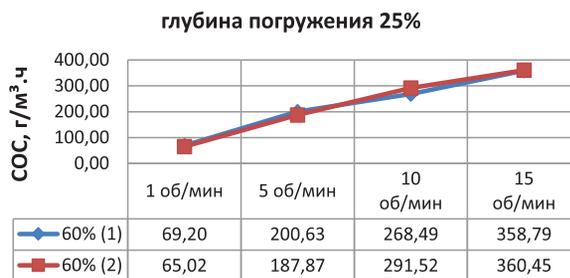


Рис. 6. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 60 % и погружении 25 %

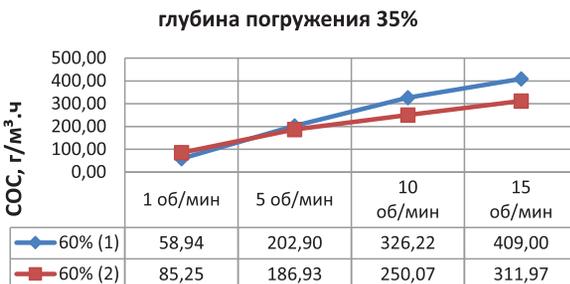


Рис. 7. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 60 % и погружении 35 %



Рис. 8. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 60 % и погружении 45 %

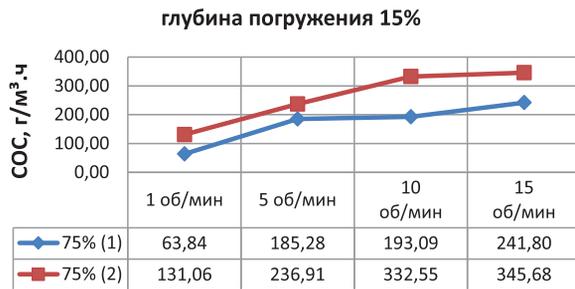


Рис. 9. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 75 % и погружении 15 %



Рис. 10. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 75 % и погружении 25 %



Рис. 11. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 75 % и погружении 35 %

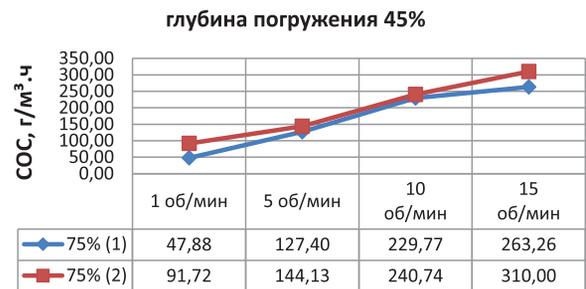


Рис. 12. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 75 % и погружении 45 %



Рис. 13. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 90 % и погружении 15 %

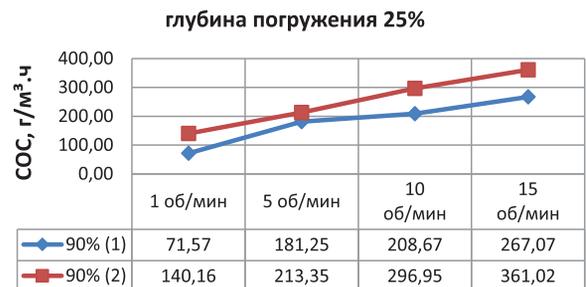


Рис. 14. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 90 % и погружении 25 %



Рис. 15. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 90 % и погружении 35 %



Рис. 16. Показатели СОС при заполнении барабана биофильтра 90 % и погружении 45 %

Результаты исследований показывают, что наивысшее значение окислительной способности СОС при использовании первого грузочного материала (1) составляло 409 г/м³.ч при заполнении барабана на 60 %, скорости вращения 15 об/мин и глубине погружения 35 %; в то время как максимальное значение при использовании второго грузочного материала (2) было 518,95 г/м³.ч при заполнении барабана на 90 %, скорости вращения 15 об/мин и глубине погружения 15 %.

На основе сравнительного анализа экспериментальных данных (рис. 5–16) установлено, что загрузка (2) обеспечивает более высокие значения СОС при низких глубинах погружения (15–25 %), в то время как при больших глубинах погружения (35–45 %) загрузка (1) обеспечивает более высокие значения. Это ясно при заполнении барабана на 60–90 % и менее отчетливо при заполнении 75 %, что подтверждает важность и существенное влияние формы загрузки на скорость переноса кислорода, поскольку цилиндрическая форма загрузки (1) служит для улавливания кислорода внутри полости цилиндра и его переноса в жидкость при погружении загрузки, когда барабан вращается внутри резервуара.

В то же время с загрузкой (2), имеющей плотность меньше плотности воды, происходит противоположное, поскольку её форма, похожая на чипсы, не позволяет захватывать кислород воздуха и переносить его, а скорее она наносится поверх друг друга в виде слоя на поверхности жидкости, не погружаясь в воду и не смешивая и не перемещая ее, и, таким образом, окислительная способность и скорость переноса кислорода уменьшается.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что изменение формы загрузки, а также её плотности существенно влияет на ОС биофильтра. Кроме того, изменение формы загрузки требует изменения других технологических параметров, таких как процент заполнения барабана, глубина погружения и скорость вращения. Грузочный материал определенной формы требует скорости вращения и глубины погружения, которые отличаются от других материалов с другой формой для достижения аналогичной ОС. Поэтому при проведении исследований по проектированию и расчету погружных вращающихся биофильтров рекомендуется заранее проводить лабораторные эксперименты при выборе грузочного материала, чтобы определить наиболее подходящие технологические параметры для достижения наивысших значений окислительной способности и общей достаточности, а не только принимать площадь поверхности в ка-

честве единственного критерия выбора грузочного материала как при проектировании погружных вращающихся биофильтров традиционными методами.

Выводы. Погружные вращающиеся биофильтры (ПВБ) являются оптимальным вариантом для очистки сточных вод малых населенных мест в Сирии. ПВБ барабанного типа с мобильной загрузкой были успешно использованы в качестве заменителей дисков. Однако ПВБ не лишены недостатков, наиболее важные из них – конструктивные факторы, которые отрицательно влияют на скорость переноса кислорода. Модифицированный погружной вращающийся биофильтр (МПВБ) разработан с целью повышения эффективности очистки и качества очищенной воды за счет увеличения скорости массообмена и окислительной способности ПВБ барабанного типа без необходимости использования дополнительных элементов аэрации. Результат сравнения влияния двух типов загрузки на окислительную способность показывает, что наивысшее значение окислительной способности СОС при использовании первого грузочного материала (1) составляло 409 г/м³.ч при заполнении барабана на 60 %, скорости вращения 15 об/мин и глубине погружения 35 %. В то время как максимальное значение при использовании второго грузочного материала (2) было 518,95 г/м³.ч при заполнении барабана на 90 %, скорости вращения 15 об/мин и глубине погружения 15 %. Также можно сделать вывод, что изменение формы загрузки, а также её плотности существенно влияет на СОС биофильтра. Кроме того, изменение формы загрузки требует изменения других технологических параметров, таких как процент заполнения барабана, глубина погружения и скорость вращения.

Благодарности

Благодарим компанию ООО «ГУДФИД», г. Ростов-на-Дону, Россия, за поддержку данного исследования при обеспечении грузочных материалов биофильтра без какой-либо финансовой оплаты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nechifor, V. and Winning, M. (2018). Global Economic and Food Security Impacts of Demand-Driven Water Scarcity – Alternative Water Management Options for a Thirsty World. *Water*, Vol. 10, 1442; doi:10.3390/w10101442.
2. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme) (2017). *The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource*. Paris, UNESCO.

3. M A Saied and N S Serpokrilov. Evaluation results of the wastewater treatment system of small settlements in Syria // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.- 2020.- № 778.- 775 012096.
4. هاي م ع اطق. قرش اعلا ةي س م خ ل ا ة ط خ ل ا - ة ل و د ل ا ط ي ط خ ت ة ي ي ه . ص 43 ، اي روس ، رش ع س م ا خ ل ا ل ص ف ل ا - ي ح ص ل ا ف ر ص ل ا و ب ر ش ل ا
5. Саид М. Особенности очистки сточных вод в Сирии // Технологии очистки воды: материалы IX международной научно-практической конференции. Ростов-н/Д, 2016. С. 240–243.
6. Саид Марам Али, Н.С. Серпокрялов Н.С. Эколого-экономический анализ применения погружных вращающихся биофильтров для очистки сточных вод малых населенных пунктов в Сирии // Яковлевские чтения: конф. М., 2020. С. 80 – 86.
7. Саид Марам Али, Серпокрялов Н. С. Анализ практики использования вращающихся биофильтров в очистке сточных вод применительно к условиям Сирии // Инженерно-строительный вестник Прикаспия / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань, 2019. № 4 (30). С. 100–104.
8. Патент РФ № 2720 150. Модифицированный погружной вращающийся биофильтр для очистки сточных вод от загрязнений. МПК СО2F 3 / 06, № 2019137412, заявл. 21.11.2019, опубл. 24.04.2020.
9. Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water. American Society of Civil Engineers. 2007. 42 с.
10. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Ed. – APHA.1998. WPCF, AWWA.
7. Saeid M.A., Serpokrylov N.S. Analysis of the practice of using rotating biofilters in wastewater treatment in relation to the conditions of Syria. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. Astrakhan, 2019, no. 4 (30), pp. 100–104. (in Russian)
8. *Modifitsirovannyi pogruzhnoy vrashchayushchiysya biofil'tr dlya ochistki stochnykh vod ot zagryaznen* [Modified submersible rotary biofilter for wastewater purification from pollution]. Patent RF, no. 2 720 150 C1, 2020.
9. Measurement of Oxygen Transfer in Clean Water. American Society of Civil Engineers, 2007. 42 p.
10. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Ed. APHA,1998. WPCF, AWWA.

REFERENCES

1. Nechifor, V. and Winning, M. (2018). Global Economic and Food Security Impacts of Demand-Driven Water Scarcity—Alternative Water Management Options for a Thirsty World. *Water*, 2018, Vol. 10, 1442. DOI:10.3390/w10101442.
2. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater, 2017, Paris, UNESCO (unpublished)
3. Saied M. A., Serpokrilov N.S. Evaluation results of the wastewater treatment system of small settlements in Syria. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, no. 778, 012096.
4. هاي م ع اطق. قرش اعلا ةي س م خ ل ا ة ط خ ل ا - ة ل و د ل ا ط ي ط خ ت ة ي ي ه . ص 43 ، اي روس ، رش ع س م ا خ ل ا ل ص ف ل ا - ي ح ص ل ا ف ر ص ل ا و ب ر ش ل ا
5. Saied M. Features of wastewater treatment in Syria. *Tekhnologii ochistki vody: materialy IX mezhdunarodnoy nauuno-prakticheskoy konferentsii* [Water purification technologies: materials of the IX international scientific-practical conference]. Rostov on Don, 2016, pp. 240–243. (in Russian)
6. Saeid M.A., Serpokrylov N.S. Ecological and economic analysis of the use of submersible rotating biofilters for the treatment of wastewater from small settlements in Syria. *Yakovlevskiy chteniya*, 2020, pp. 80 – 86. (in Russian)

Об авторах:

САИЙД Марам Али

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения
Донской государственной технической университет
Архитектурно-строительный институт
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пер. Журавлева, 33
E-mail: e-ms-87@hotmail.com

SAIED Maram Ali

Postgraduate student of the Water Supply and Sanitation
Chair
Don State Technical University,
Institute of Architecture and Civil Engineering
344000, Russia, Rostov-on-Don, Avenue Zhuravleva, 33
E-mail: e-ms-87@hotmail.com

СЕРПОКРЫЛОВ Николай Сергеевич

доктор технических наук, профессор, профессор
кафедры водоснабжения и водоотведения
Донской государственной технической университет
Архитектурно-строительный институт
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пер. Журавлева, 33
E-mail: nik.serpokrilov@yandex.ru

SERPOKRYLOV Nikolay S.

Doctor of Engineering Science, Professor, Professor of
the Department of Water Supply and Sanitation
Don State Technical University,
Institute of Architecture and Civil Engineering
344000, Russia, Rostov-on-Don, Avenue Zhuravleva, 33
E-mail: nik.serpokrilov@yandex.ru

НЕЛИДИН Владимир Владимирович

кандидат технических наук, преподаватель кафедры
водоснабжения и водоотведения
Донской государственной технической университет
Архитектурно-строительный институт
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, пер. Журавлева, 33
E-mail: Nelidin83@gmail.com

NELIDIN Vladimir V.

PhD in Engineering Science, Lecturer of the Water
Supply and Sanitation Chair
Don State Technical University,
Institute of Architecture and Civil Engineering
344000, Russia, Rostov-on-Don, Avenue Zhuravleva, 33
E-mail: Nelidin83@gmail.com

Для цитирования: Саийд М.А., Серпокрьлов Н.С., Нелидин В.В. Влияние типа загрузки на окислительную способность модифицированного погружного вращающегося биофильтра // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 4. С. 60–68. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.8.

For citation: Saied M.A., Srepokrylov N.S., Nelidin V.V. Influence of the biomass carrier type on the oxygen transfer rate of the modified submersible rotating biofilter. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 4, Pp. 60–68. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.8.

**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР
«САМАРАСТРОЙИСПЫТАНИЯ»**

