Методы реконструкции и модификации реактора периодического действия станций очистки сточных вод во Вьетнаме

Чан Ха Куан, Е.С. Гогина

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

АННОТАЦИЯ

Введение. Очистные сооружения городов и населенных пунктов Вьетнама в целом являются аэрационными сооружениями. Реактор периодического действия SBR в настоящее время достаточно широко применяется и обладает рядом преимуществ перед традиционными системами с взвешенным активным илом, основные из которых связаны с простотой эксплуатации, занимаемой площадью и затратами. На станциях очистки сточных вод имеется ряд проблем, связанных с поступлением на очистку только половинного расхода сточных вод по сравнению с проектным, а также с качеством очищенной сточной воды, которое должно удовлетворять нормативам, указанным в стандарте А Вьетнама. Поэтому реконструкция и модификация SBR реактора — одна из главных задач для обеспечения устойчивого развития городов и сохранения экологического равновесия.

Материалы и методы. Для повышения эффективности очистки сточных вод в SBR реакторе проведены эксперименты, направленные на решение поставленных задач по реконструкции и модификации реактора по двум технологическим направлениям: 1) применение биологического загрузочного материала BioChip 25; 2) создание аноксидной зоны в операционном цикле реактора. Для каждого технологического направления проведены лабораторные испытания, включающие сравнение типового реактора с модифицированным.

Результаты. Получено оптимальное количество загрузочного материала BioChip в диапазоне 10–20 %, которое увеличивает эффективность очистки сточных вод на 10–20 %. Кроме того, при создании аноксидного периода эффективность глубокой очистки от соединений азота увеличивается на 20 %. Процесс денитрификации в аноксидных условиях способствует стабилизации процесса удаления аммонийного азота при нагрузке по азоту в количестве 0,3–0,8 кг ТKN/кг ил/сут.

Выводы. Качество очищенных сточных вод по предлагаемой технологии соответствует требованиям стандарта А Вьетнама. В настоящее время планируется продолжение эксперимента на базе полупроизводственной установки во Вьетнаме для исследования и оценки возможности процесса реконструкции и модификации SBR реактора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аноксидный, активный ил, биологический загрузочный материал, бытовые сточные воды, денитрификация, нитрификация, реактор периодического действия, реконструкция и модификация городской очистной станции

Благодарности. Авторы выражают благодарность компании «АКВА Контроль» г. Самары за предоставление загрузочного материала BioChip 25 и кандидату технических наук, доценту Чан Ван Куанг, и его студентам Нгуен Нгок Фыонг и Чыонг Куок Даи за поддержку в проведении эксперимента во Вьетнаме.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чан Ха Куан, Гогина Е.С. Методы реконструкции и модификации реактора периодического действия станций очистки сточных вод во Вьетнаме // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 5. С. 589–602. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.5.589-602

Methods of reconstruction and modification of the sequencing batch reactor at municipal wastewater treatment plants in Vietnam

Tran Ha Quan, Elena S. Gogina

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavlshoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. Vietnamese urban municipal wastewater treatment plants are mainly of aeration-type facilities. Nowadays, an aeration-type plant, the Sequencing Batch Reactor (SBR), is widely applied and possesses a number of advantages over traditional systems with suspended activated sludge. Advantages of the SBR are mainly concluded in simplicity of operation, occupied area and cost. There is a number of problems at the wastewater treatment plants; they are connected with supplying only a half of wastewater design amount for the treatment as well as with quality of the purified water that must satisfy requirements of the Vietnamese discharge standard, the Standard A. Therefore, reconstruction and modification

of the SBR is the major challenger to ensure the sustained development of large Vietnamese cities and maintenance of ecological balance.

Materials and methods. To enhance the efficiency of wastewater purification in the SBR, the experiments were set on reactor reconstruction and modification by two directions: (1) Technological method, i.e. applying the Biochip 25 biocarrier, and (2) Operation method, i.e. adding the anoxic phase in reactor operation cycle. Laboratory tests were conducted for each of the directions, including comparison of a typical reactor with the modified one.

Results. The study resulted in obtaining an optimal amount of the BioChip biocarrier material (10 to 20 %) that increased efficiency of wastewater purification by 10 to 20 %. In addition to this, when creating an anoxic phase of the operation cycle, efficiency of nitrogen removal increased by 20 %. When the denitrification occurs under the anoxic conditions, it contributes to stabilization of ammonium nitrogen removal for daily nitrogen loading in reactor of 0.3 to 0.8 TKN kg/sludge kg.

Conclusions. The suggested technology provides the quality of treated water corresponding with the Vietnamese Standard A requirements. At the present, it is planned to proceed with the experiment on the base of Vietnamese semi-industrial plant for research and appraisal of the SBR reconstruction and modification method.

KEYWORDS: anoxic, activated sludge, biocarrier media, municipal wastewater, denitrification, nitrification, batch reactor, reconstruction and modification of urban purification plant

Acknowledgements. The authors are grateful to AKVA Control company in Samara for granted biocarrier Mutag BioChip 25 and to Associate Professor Tran Van Quang and his students, Nguyen Ngoc Phuong and Truong Quoc Dai, of Environment Protect Research Center, Danang University for support of the experiment.

FOR CITATION: Tran Ha Quan, Gogina E.S. Methods of reconstruction and modification of the sequencing batch reactor at municipal wastewater treatment plants in Vietnam. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019; 14(5):589-602. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.5.589-602 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Реактор периодического действия (SBR) представляет собой сооружение, предназначенное для очистки сточных вод и включающее применение взвешенной культуры активного ила. Система работает в соответствии с заданным циклом по типу «заполнение – удаление» сточных вод, который изменяется в дискретный период времени [1–3]. В единой емкости или в резервуаре, SBR выполняет функции регулирования, нейтрализации, биологической очистки и осаждения с использованием автоматического управления временной последовательностью фаз. SBR реакторы могут применяться как сооружения для очистки бытовых и промышленных сточных вод, особенно в населенных пунктах с небольшим количеством населения или с высокой неравномерностью расходов сточных вод, поступающих на сооружения [2, 4, 5]. Согласно отчету Агентства по охране окружающей среды США, SBR реактор имеет преимущества перед традиционными системами с активным илом, заключающиеся в эксплуатации, занимаемой площади и стоимости [6].

Таким образом, учитывая систему водоотведения большинства городов Вьетнама, когда бытовые сточные воды собираются в общесплавную систему, а расход и концентрация загрязняющих веществ зависят от климата, технология с применением SBR реакторов может широко использоваться на со-

оружениях биологической очистки очистных станций [7]. В период 2012–2016 гг. 60 % проектов станций очистки бытовых сточных вод с расходом более 30 000 м³/сут включали реактор периодического действия. Это касается, как проектов по строительству новых сооружений, так и проектов по реконструкции действующих очистных станций [8]. Такие станции неплохо зарекомендовали себя в части очистки от органических загрязнений. Однако качество очищенных вод по биогенным элементам, особенно концентрация аммонийного азота в очищенных сточных водах не удовлетворяет требуемым условиям, которые определены документом «Стандарт А» — качество очищенных вод Вьетнама [9, 10].

Кроме того, расходы сточных вод, поступающие на очистку на станции биологической очистки SBR, составляют только половину от расчетного значения реактора, не учитывают развития городов и соответственно в недалеком будущем, производительность очистных станций не будет обеспечивать требуемого для устойчивого развития города. Эффективность очистки и рабочий расход типичного SBR реактора, используемого для очистки бытовых сточных вод во Вьетнаме, показаны на графике (рис. 1) [8].

В связи с вышеизложенным можно говорить о том, что реконструкция и модернизация технологии очистки сточных вод в SBR реакторе являются актуальными основными задачами для получения

Значение / Value	Средний расход / Average flow	БПК ₅ / BOD ₅			ХПК / COD			N-NH ₄			P-PO ₄		
		Вход. / Inlet	Выход. / Outlet	Стандарт A / Standard A	Вход. / Inlet	Выход. / Outlet	Стандарт A / Standard A	Вход. / Inlet	Выход. / Outlet	Стандарт A / Standard A	Вход. / Inlet	Выход. / Outlet	Стандарт A / Standard A
Единицы / Units	м³/д / m³/day	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l	мг/л / mg/l
Макс. / Max.	19 284	96	10,42		125	13,20		18,65	9,41		4,54	1,42	
Мин. / Min.	11 773	53	6,32	30	84	11,27	50	10,86	5,73	5,00	2,48	0,93	6,00
Сред. / Mean	15 959	82	8,65		108	12,22		16,59	7,58		3,44	1,17	

Рис. 1. Данные типичной очистной станции с использованием технологии SBR во Вьетнаме
Fig. 1. Data of a typical purification plant using SBR technology in Vietnam

требуемого качества очищенных вод в соответствии со Стандартом А Вьетнама. Следовательно, процесс глубокой очистки от биогенных элементов в реакторе периодического действия, особенно от соединений азота, — главное направление исследования для повышения качества очищенных сточных вод. Согласно отчету Агентства по охране окружающей среды США (USEPA) и руководства по практике Федерации водной среды (WEF), реконструкция SBR реактора в условиях Вьетнама должна развиваться по двум основным направлениям [11]. Первое включает применение биологического носителя или биопленки в реакторе, взаимодействующего сообщества микроорганизмов, при котором микрофлора дополнительно к взвешенной прикрепляется и развивается на поверхности загрузочного материала. Это хороший и недорогой технологический метод, увеличивающий эффективность удаления не только органических веществ, но и биогенных элементов [12, 13]. Другой метод заключается в изменении цикла работы SBR реактора добавлением периодов нитрификации и денитрификации в процессе биологической очистки сточных вод. Данный метод называется операционным методом [11, 14, 15].

На кафедре водоснабжения и водоотведения НИУ МГСУ и в Центре охраны воды и окружающей среды (EPRC) Технологического университета г. Даланг проведены эксперименты для исследования методов реконструкции и модернизации технологии SBR. Схема и процесс экспериментов представлены на рис. 2 [16–18].

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА — ПЕРИОД 1

Материалы и методы

В отличие от микроорганизмов взвешенного активного ила в стандартном реакторе, биологический носитель связывает и ассоциирует клетки для снижения скорости роста, повышения и понижения регуляции гена и образования внеклеточного полимерного матрикса. Биопленки и применение загрузочных материалов доминировали в технологии очистки сточных вод в течение нескольких десятилетий. В качестве загрузочных применялось большое количество материалов от натуральных, таких как камень, шлак, до искусственных из пластика или полимера [13].

Рис. 2. Схема эксперимента

Fig. 2. Experiment flowchart

Загрузочный материал Mutag BioChip 25™ (рис. 3) имеет диаметр около 25 мм, толщину около 1,1 мм и большое количество открытых пор на поверхности для иммобилизации микроорганизмов. Таким образом, значение активной площади поверхности BioChip более 4000 м²/м³, что обеспечивает оптимальную среду обитания бактерий в открытых порах и каналах материала [19].

Первый период эксперимента был проведен в 2 этапа, которые включали определение оптимального соотношения количества BioChip и активного ила в аэробных условиях и определение эффективности очистки сточных вод от загрязняющих веществ при применении материала в реакторе SBR. Аэробный

режим для данного этапа эксперимента выбран как наиболее стандартный и стабильный для полной биологической очистки сточных вод. Схема экспериментов показана на рис. 4.

Результаты исследования

При одинаковых условиях поступления питательных веществ в реактор исследовалось увеличение процента материала на 2 литра активного ила от 5, 10, 25, 35, 50 %. Расчетная доза ила в реакторе через 72 ч представлена на графиках (рис. 5).

Масса активного ила, который прикрепляется на поверхности BioChip, стабилизируется через 36 ч и достигает максимального значения 1,5 г/мл

Рис. 3. Загрузочный материал Mutag BioChip 25™

Fig. 3. Mutag BioChip 25™ biocarrier media

Рис. 4. Схема первого периода эксперимента

Fig. 4. First experimental period flowchart

Рис. 5. График массы ила в реакторе и фото BioChip в реакторе

Fig. 5. Diagram of sludge mass in reactor and photograph of BioChip in reactor

материала, когда объемная доля BioChip равна 25 %. Максимальная концентрация активного ила в общем объеме, включающем взвешенную и прикрепленную часть на поверхности материала, составляет 2,5 г/л при долях от 10 до 25 %.

Применение результатов исследований первого этапа в реакторе SBR и сравнение их эффективности очистки от загрязняющих веществ в типовом реакторе показано на графиках (рис. 6).

Согласно представленным кривым на графике, эффективность очистки сточных вод в SBR с использованием BioChip увеличивается на 10–20 %. Кроме того, процесс нитрификации и удаления соединений азота тоже увеличивается на 5 % при том, что максимальная концентрация нитратов, которые образуются при биологической очистке достигает 25 мг/л.

Результаты показали, что применение загрузочного материала способствует росту микро-

Рис. 6. Концентрация и эффективность очистки от загрязняющих веществ

Fig. 6. Concentration and removal efficiency of pollutants

Рис. 7. Скорость утилизации субстрата и роста биомассы в реакторе

Fig. 7. Rates of substrate utilization and biomass growth in reactor

организмов и приводит к увеличению скорости утилизации субстрата и удельной скорости роста биомассы. Эти значения определяются по формуле Моно по данным эксперимента и показаны на графике (рис. 7) [4, 20].

$$r_{su} = -\frac{\mu_m X L}{K_L + L}$$

$$\mu = -Y \frac{\mu_m L}{K_L + L} - k_d$$

где r_{su} — скорость утилизации субстрата, $\text{г/м}^3 \cdot \text{сут}$; μ_m — максимальная удельная скорость роста, $\text{г субстрата/г микроорганизм} \cdot \text{сут}$; L — концентрация субстрата, г/м^3 ; X — концентрация биомассы, г/м^3 ; K_j — константа полунасыщения равна концентрации

субстрата, при которой скорость процесса равна $\mu_m/2$, г/м^3 ; Y — коэффициент отдачи, определяющий массу активного ила или биомассы, соотнесенные на единицу удаленных субстратов, г БВВ/г р6ХПК ; k_d — коэффициент эндогенного распада, $\text{г БВВ/г БВВ} \cdot \text{сут}$ или сут^{-1} ; μ — удельная скорость роста биомассы, $\text{г БВВ/г БВВ} \cdot \text{сут}$ или сут^{-1} .

Таким образом, применение загрузочного материала — бионосителя BioChip увеличивает скорость утилизации субстрата в SBR реакторе на 20–30 % при увеличении удельной скорости роста биомассы при низкой концентрации БПК. В связи с тем, что эффективность очистки сточных вод по концентрациям БПК и ХПК в очищенных сточных водах с применением BioChip повышается результаты исследования можно признать положительными.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА — ПЕРИОД 2

Материалы и методы

В сооружении биологической очистки сточных вод с использованием активного ила процесс глубокого удаления соединений азота осуществляется с помощью нитрифицирующих бактерий, например *Nitrosomonas* и *Nitrobacter*, которые окисляют аммиак до нитрита, а затем до нитрата; этот процесс называется нитрификация. Однако удаляемое количество азота лимитируется процессом окисления органических веществ, так как только 5,0 мг азота очищается на 100 мг БПК в сточной воде. Процесс денитрификации применяется в биологическом сооружении для восстановления части растворимых нитратов до газообразного азота. Каждый процесс иллюстрируется следующими уравнениями [4, 15]:

Согласно трансформированному азотному циклу в природе, денитрификация может происходить в природной зоне и(или) морской экосистеме. В сооружениях с активным илом, денитрификация происходит в аноксидной среде, когда концентрация растворенного кислорода в диапазоне 0,2–2,0 мг/л, окислительно-восстановительный потенциал (ORP) от –200 до 200 мВ. В отличие от денитрификации производительность реакции нитрификации пропорциональна концентрации растворенного кислорода в реакторах при ORP выше 200 мВ [11, 15]. Значения параметров DO и ORP соответствуют биологическим реакциям, как показано на рис. 8.

Для модификации реактора SBR с целью проведения процессов нитрификации – денитрификации, исследуемая лабораторная модель была дополнена смесителем и крышкой. На рис. 9 показаны схемы очистки сточных вод и операционный цикл каждой модели [16, 20].

Результаты исследования

В начале фазы биологической очистки сточных вод реактор 3 ч работает в режиме денитрификации в аноксидном режиме для восстановления всех растворенных нитратов до газообразного азота. Этот

процесс проводится путем смешения активного ила в бескислородных условиях. Кроме того, одновременно обеспечивается процесс нитрификации в реакторе высокой производительности. По истечении трех часов работа реактора выводится на стандартный режим аэрации. Качество очищенных вод в каждой модели продемонстрировано на графиках (рис. 10).

Эффективность очистки по БПК и ХПК в реакторе достигает 80–90 % и, несмотря на некоторое увеличение их концентрации в сточных водах в конце эксперимента, качество очищенных вод всех реакторов соответствует стандарту А Вьетнама.

Изменение цикла работы реактора внесло изменения в эффективность его работы по удалению соединений азота из сточных вод. Качество очистки по данному показателю повысилось на 10–20 % по сравнению со стандартным типовым SBR реактором. Типовой реактор обеспечивает успешный процесс нитрификации, как правило, когда концентрация аммонийного азота в поступающей сточной воде ниже 30 мг/л, а показатель общего азота по Кьельдалю (TKN) ниже 100 мг/л в сточной воде. Эффективность очистки в типовом реакторе соответственно уменьшается на 20 % для N – NH₄ и на 40 % для TKN, когда качество сточных вод увеличивается в конце эксперимента. При изменении цикла работы реактора включением аноксидной зоны процент удаления азота находится в диапазоне 75–80 % и качество очищенных сточных вод соответствует стандарту А Вьетнама.

Взаимосвязь между эффективностью удаления аммонийного азота и общего азота TKN и их массовые нагрузки на реактор представлены на рис. 11.

В основном, как показали проведенные исследования, процесс удаления азота обратно пропорционален нагрузке реактора по соединениям азота. Так, при увеличении нагрузки по аммонийному азоту SBR реактора от 0,07 до 0,30 кг N – NH₄/кг ила/сут эффективность работы типового реактора уменьшается от 70 до 50 %, но в модифицированном реакторе это значение уменьшается на 10 % (от 80 до 70 %). В том же расчете TKN удаляемый процент азота стабилизируется на 75 % в модифицированном реакторе, в связи с тем, что нитраты трансформируются до газообразного азота во время аноксидного периода при нагрузке 0,3–0,8 кг TKN/кг ил/сут.

Рис. 8. Условия проведения биологических процессов в реакторе

Fig. 8. Conditions of conducting biological processes in reactor

Рис. 9. Схема модели второго периода эксперимента

Fig. 9. Second experimental period model flowchart

Рис. 10. Концентрация и эффективность очистки загрязняющих веществ

Fig. 10. Concentration and removal efficiency of pollutants

Рис. 11. Эффективность удаления азота реактор

Fig. 11. Nitrogen removal efficiency

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты эксперимента по проведению реконструкции и модификации модели SBR реактора показали, что использование загрузочных материалов повышает эффективность очистки сточных вод от органических веществ, тогда как применение аноксидной фазы в операционном цикле реактора повышает производительность процесса глубокой

очистки от соединений азота в сточной воде. Для интенсификации всех процессов удаления загрязняющих веществ из сточных вод второй метод может быть применен в реакторе периодического действия. Продолжение эксперимента планируется на базе полупроизводственной установки во Вьетнаме для исследования и оценки возможности процесса реконструкции и модификации при комбинировании методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sequencing batch reactor // The International Water association publishing. URL: <https://www.iwapublishing.com/news/sequencing-batch-reactor>
2. Sequencing batch reactor design and operational considerations // New England Interstate Water pollution Control commission. September 2005. Pp. 1–6.
3. Панова И.М., Нойберт И. Биологическая очистка по технологии SBR // Экология Производства. 2014. № 6. С. 58–61.
4. Wastewater engineering treatment and reuse 4th edition // Metcalf & Eddy, McGraw — Hill Companies. 2003. Pp. 720–733.
5. Чан Ха Куан, Нгуен Суан Куэт, Гогина Е.С. Преимущества технологии реактора циклического действия для очистки сточных вод // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сб. тр. XX Междунар. межвуз. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов, Москва 26–28 апреля 2017. М. : МГСУ, 2017. С. 1093–1096.
6. Summary report sequencing batch reactor // United States Environmental Protection Agency EPA/625/8-86/011. 1986.
7. Vietnamese urban wastewater review. executive summary // The World Bank, Australian Aid. 2013. Pp. 30–34.
8. Gogina E., Quan T.H. The assessment of technology SBR in Vietnamese wastewater treatment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. P. 022061. DOI: 10.1088/1757-899x/365/2/022061
9. Nguyen Viet Anh. Vietnam water and wastewater report. 2016.
10. National technical regulation on domestic wastewater. QCVN 40: 2010/BTNMT/ HaNoi. 2008.
11. Biological nutrient removal (BNR) operation in wastewater treatment plants: manual of practice No. 29/ Water Environment Federation, 2005. Chapter 22.
12. Quan T.H., Gogina E. Technology SBR in Vietnamese municipal wastewater treatment and their modifications with bio-carrier BioChip // IPB&KU International symposium on Education and Research in Global Environment Studies in Asia, Bogor 30 Nov – 2 Dec Indonesia, 2018. 25 p.
13. Kokare C.R., Chakraborty S., Khopade A.N., Mahadik K.R. Biofilm: importance and applications // Indian Journal of Biotechnology. 2009. Vol. 8. Pp. 159–168.
14. Nitrification and denitrification // Michigan Department of Environmental Quality Operator Training and Certification Unit: Online Training Course for Municipal & Industrial Wastewater.
15. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М. : МГСУ; Изд-во АСВ, 2006. С. 408–411.
16. Mogens Henze, Willi Gujer, Takashi Mino, Mark van Loosdrecht. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3. IAWPRC Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment. 2000. Pp. 5–25. DOI: 10.2166/9781780402369
17. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Baltimore : American Public Health Association, 1998.
18. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 1 — Методы химического анализа вод. Т. 1 — Основные методы. М. : Совет экономической взаимопомощи, 1987. 1244 с.
19. Multi Umwelttechnologie AG // Instructions and recommendations for the operation of Mutag BioChip 20™ carrier media.
20. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биохимические процессы в очистке сточных вод. М. : Стройиздат, 1980. 200 с.

Поступила в редакцию 2 марта 2019 г.

Принята в доработанном виде 10 апреля 2019 г.

Одобрена для публикации 27 апреля 2019 г.

ОБ АВТОРАХ: Чан Ха Куан — аспирант кафедры водоотведения и водной экологии, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, VIVE@mgsu.ru, voda@mgsu.ru, haquan_891300@gmail.com;

Гогина Елена Сергеевна — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры водоотведения и водной экологии, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, goginaes@mgsu.ru.

REFERENCES

1. Sequencing batch reactor. *The International Water association publishing*. URL: <https://www.iwa-publishing.com/news/sequencing-batch-reactor>
2. Sequencing batch reactor design and operational considerations. *New England Interstate Water pollution Control commission*. September 2005; 1-6.
3. Panova I.M., Noiberg I. Technology biological wastewater treatment. *Ecology Production*. 2014; 6:58-61 (rus.).
4. Wastewater Engineering Treatment and Reuse 4th Edition. *Metcalf & Eddy, McGraw — Hill Companies*. 2003; 720-733.
5. Tran Ha Quan, Nguyen Xuan Quyet, Gogina E.S. The advantages of technology Sequencing Batch Reator for wastewater treatment. *Construction — Formation of the environment of vital activity: collection of works XX International interuniversity science.-prakt. conf. students, undergraduates, Moscow 26–28 April 2017*. Moscow, MGSU Publ., 2017; 1093-1096. (rus.).
6. Summary report sequencing batch reactor. *United States Environmental Protection Agency EPA/625/8-86/011*. 1986.
7. Vietnamese urban wastewater review. Executive summary. *The World Bank, Australian Aid*. 2013; 30-34.
8. Gogina E., Quan T.H. The assessment of technology SBR in Vietnamese wastewater treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 365:022061. DOI: 10.1088/1757-899x/365/2/022061
9. Nguyen Viet Anh. *Vietnam water and wastewater report*. 2016.
10. *National technical regulation on domestic wastewater*. QCVN 40: 2010/BTNMT/ HaNoi. 2008.
11. *Biological nutrient removal (BNR) Operation in wastewater treatment plants: manual of practice* No. 29. Water Environment Federation, 2005. Chapter 22.
12. Quan T.H., Gogina E. Technology SBR in Vietnamese municipal wastewater treatment and their modifications with bio-carrier BioChip. *IPB&KU International symposium on Education and Research in Global Environment Studies in Asia, Bogor 30 Nov–2 Dec Indonesia, 2018*; 25.
13. Kokare C.R., Chakraborty S., Khopade A.N., Mahadik K.R. Biofilm: importance and applications. *Indian Journal of Biotechnology*. 2009; 8:159-168.
14. Nitrification and denitrification. *Michigan department of environmental quality operator training and certification unit: online training course for municipal & industrial wastewater*.
15. Voronov U.V., Yakovlev S.V. *Wastewater and wastewater treatment*. Moscow, MGSU Publishing house ASV, 2006; 408-411.
16. Mogens Henze, Willi Gujer, Takashi Mino, Mark van Loosdrecht. Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2d, ASM3. *IAWPRC Task group on mathematical modelling for design and operation of biological wastewater treatment*. 2000; 5-25. DOI: 10.2166/9781780402369
17. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 20th ed. Baltimore, American Public Health Association, 1998.
18. *Unified methods for examination of water quality*. Part 1 — methods of chemical analysis of water. Vol. 1 — Basic methods. Moscow, Council for Mutual Economic Assistance Publ., 1987; 1244. (rus.).
19. Multi Umwelttechnologie AG. *Instructions and recommendations for the operation of Mutag BioChip 20™ carrier media*.
20. Yakolev S.V., Karuhina T.A. *Biochemical wastewater treatment*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1980; 200. (rus.).

Received March 2, 2019

Adopted in a modified form on April 10, 2019

Approved for publication April 27, 2019

BIONOTES: **Tran Ha Quan**, PhD Student of Department of Wastewater Treatment and Ecology, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, VIVE@mgsu.ru, voda@mgsu.ru, haquan_891300@yahoo.com;

Elena S. Gogina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Wastewater Treatment and Ecology, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation, goginaes@mgsu.ru.