

## Анализ эффективности аэротенков в системе очистки сточных вод

Зухра Р. Шамсутдинова<sup>1</sup> zuhrush92@mail.ru

Ильдар И. Хафизов<sup>2</sup> khafizov@kpfu.ru

<sup>1</sup> кафедра биомедицинской инженерии и управления инновациями, Инженерный институт Казанского (Приволжского) федерального университета, ул. Сайдашева, 12, г. Казань, 420021, Россия

<sup>2</sup> Инженерный институт Казанского (Приволжского) федерального университета, ул. Сайдашева, 12, г. Казань, 420021, Россия

**Реферат.** В работе обсуждается проблема очистки сточных вод нефтехимического производства и предлагаются пути ее усовершенствования. Рассматривается биологический метод, основанный на использовании закономерностей биохимического и физиологического самоочищения рек и других водоёмов. Биологический метод является перспективным в системе очистки сточных вод, благодаря его destructiveness, потому что в результате его происходит частичное или полное разрушение загрязнителей в сточной воде. В статье исследуется интенсивность и результативность такой очистки. Эффективность очистки зависит от степени поддержания бактерий в состоянии физиологической активности. Для этого сравниваются случаи применения процессов одно-, двух- и более ступенчатой очистки с дифференцированной организацией движения воды и ила, а также структурные схемы установок для биологической очистки и процессы, которые сопровождают различные типы очистки. Анализируется эффективность использования аэротенков с максимальной и минимальной зоной регенерации. Выяснили, что при биологической очистке с максимальной зоной регенерации эффективность по химическому потреблению кислорода и скорость окисления выше, чем при режиме с минимальной зоной регенерации. Для решения проблемы эффективной очистки сточных вод предлагается технологическая схема расстановки аэротенков с изменением угла смешения потоков активного ила со сточной водой. Такая технологическая схема полной биологической очистки представляет собой комплекс очистных сооружений, которые располагаются таким образом, что сточная жидкость, проходя их последовательно одно за другим, подвергается механической, биологической очистке и дезинфекции перед спуском ее в водоем.

**Ключевые слова:** загрязнение, сточные воды, обеззараживание, аэротенки, технология очистки воды, органические примеси, водоемы, промышленные предприятия

## Analysis of the aerotanks efficiency in wastewater treatment system

Zukhra R. Shamsutdinova<sup>1</sup> zuhrush92@mail.ru

Ildar I. Khafizov<sup>2</sup> khafizov@kpfu.ru

<sup>1</sup> biomedical engineering and innovation management department, Engineering Institute Kazan Federal University, Saidashev st., 12, Kazan, 420021, Russia

<sup>2</sup> Engineering Institute Kazan Federal University, Saidashev st., 12, Kazan, 420021, Russia

**Summary.** The problem of wastewater treatment is discussed and the ways of its solution are offered in the given work. We consider the biological method based on the biochemical and physiological laws of self-purification of rivers and other bodies of water. The biological method is promising in wastewater treatment system due to its destructiveness, because as a result of a partial or complete destruction of the contaminants in the waste water. The intensity and effectiveness of this treatment are investigated in the article. The efficiency of wastewater treatment depends on the degree of maintaining the bacteria in state of physiological activity. For this application cases are compared processes with one, two or more stepwise of purification with differentiated water and sludge movement also structural units for biological purification schemes and the processes that accompany different types of purification. We analyze efficiency in aeration tanks with minimum and maximum regeneration zone. We found that the biological treatment with the maximum regeneration zone is more effective for chemical oxygen demand and oxidation rate higher than mode with the minimum regeneration zone. To solve the problem of efficient wastewater treatment is offered technological scheme of arrangement of aeration with variation of the angle of mixing activated sludge flows from the waste water. This flowsheet complete biological treatment is a complex of sewage treatment plants, which are located in such a way that the liquid waste passing them one after the other, is subject to mechanical, biological treatment and disinfection before lowering it into the reservoir.

**Keywords:** pollution, wastewater, disinfection, aerotanks, water treatment technology, organic impurities, ponds, industrial enterprises

### Введение

Среди методов очистки сточных вод важную роль играет биологический метод, основанный на использовании закономерностей биохимического и физиологического самоочищения рек и других водоёмов. До использования биологического метода сточные воды очищаются механическими и химическими методами, например, хлорируют жидким хлором или хлорной известью.

Для цитирования

Шамсутдинова З. Р., Хафизов И. И. Анализ эффективности аэротенков в системе очистки сточных вод // Вестник ВГУИТ. 2016. № 4. С. 245–249. doi:10.20914/2310-1202-2016-4-245-249

Биологический метод очистки основывается на возможности бактерий питаться загрязнителями сточных вод. Особенность микроорганизмов выражается в том, что их клетки состоят из одинаковых с клетками высших растений, животных и загрязнителей воды биогенных элементов и микроэлементов с тем, что в состав их клеток входят те же биогенные элементы и микроэлементы. Таким образом, бактерии являются источником питания животных, обитающих в воде, в то же время они, питаясь, разлагают загрязнители.

For citation

Shamsutdinova Z. R., Khafizov I. I. Analysis of the aerotanks efficiency in wastewater treatment system. *Vestnik VSUET* [Proceedings of VSUET]. 2016. no. 4. pp. 245–249. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2016-4-245-249

### 1.1 Сущность метода биохимической очистки сточных вод

По сравнению с очисткой сточных вод адсорбционными методами и ионным обменом биохимический метод деструктивен, потому что в результате его происходит частичное или полное разрушение загрязнителей в сточной воде [1–3].

Высокая биохимическая активность микроорганизмов способствует их употреблению различных веществ и окислительно-восстановительных процессов как источников энергии, что является их преимуществом перед прочими организмами.

Микроорганизмы способны окислять клетчатку, гуминовые вещества, углеводороды. Некоторые их виды преобразуют в энергию восстановленные минеральные соединения, окисляя их. На биоматериале могут также сорбироваться ионы тяжелых металлов и некоторые токсичные соединения.

Энергия, которая выделяется при окислении, используется для биосинтеза вещества клеток бактерий с большой эффективностью. То есть, бактериальная деструкция сопровождается продуцированием биомассы.

В результате использования биохимического метода появляются осадки, с преобладанием минерального и органического содержания, смешанного состава, с содержанием минеральных и органических осадков. Часть не до конца окисленных бактериями органических веществ образуют белковые комплексы, которыми питаются различные представители животного мира водоема. За счет этого происходит минерализация воды.

Непрерывность культивирования бактерий лежит в основе функционирования установок. Принцип действия современных аппаратов основан на методах непрерывного культивирования микроорганизмов (рисунок 1) [4–5].

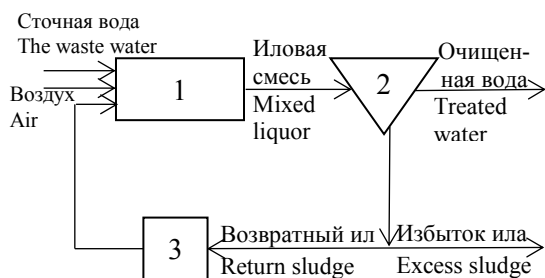


Рисунок 1. Принципиальная схема установки биоочистки с аэротенком: 1 – аэротенк; 2 – вторичный отстойник; 3 – регенератор илосборника

Figure 1. Schematic diagram of installation aeration bioremediation: 1 – aerotank; 2 – secondary clarifier; 3 – regenerator button

Процедура удаления и потребления бактериями органических загрязнителей сточных вод состоит из следующих этапов:

- массопередача органических примесей и кислорода из жидкости к поверхности клетки;
- диффузия вещества и кислорода через полупроницаемую мембрану клеток;
- метаболизм диффундированных веществ, сопровождающийся приростом биомассы, выделением энергии, углекислого газа и т. п.

Этап метаболизма является главным в методе биологической очистки сточных вод. На рисунке 2 показаны наиболее вероятные линии уменьшения концентрации примесей в очищенной воде и изменения массы микрофлоры в зависимости от продолжительности проведения процесса.

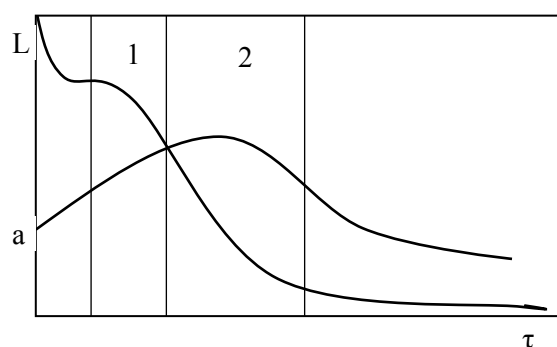


Рисунок 2. Стадии биологического метода очистки сточных вод

Figure 2. Stages of the biological method of sewage treatment

Степень интенсивности и результативности биологического метода очистки зависит от скорости размножения микроорганизмов. В принципе протекания процесса наиболее характерны две его временные стадии (рисунок 2).

Средняя стадия 2 является «максимально стационарной» и определяется компенсацией увеличения микроорганизмов их отмиранием. На этом этапе физиологическая активность клеток резко снижается и завершается стадия их активного развития.

Результативность очистки зависит от степени поддержания бактерий в состоянии физиологической активности (стадия 1). На этом этапе происходит активное снижение концентрации примесей и одновременный резкий рост объема активных веществ. Эту стадию поддерживает непрерывный проток стоков и постоянные концентрации субстрата [6–7].

Во время проведения биологической очистки протекает биоценоз бактерий (активный ил или биопленка), состав которого находится в зависимости от характера загрязнителей сточной воды, первоначального посевного материала и условий протекания процесса.

В основном фермент, который разъедает примеси, формируется только при непосредственном взаимодействии его с клеткой.

Это происходит, когда запускаются новые очистные станции или при загрязнении какой-либо новой примесью сточных вод.

Разрушение такой примеси возможно и после несколько месяцев. С целью снижения времени на обработку новых данных при запуске очистных сооружений можно предварительно засеять их уже проверенной и адаптированной микроорганизмами из прочих установок.

Схемы сооружений для биохимической очистки сточных вод могут включать следующие процессы [8]:

- усреднение и осветление исходных сточных вод (усреднители, песколовки, отстойники и т. д.);
- биохимическая очистка осветленных стоков (аэротенки, регенераторы, вторичные отстойники и т. д.);
- приготовление и дозирование реагентов;
- доочистка очищенных стоков (пруды, фильтровальные станции и т. д.);
- обработка осадков (иловые площадки, фильтры, сушилки и т. д.);
- обеззараживание очищенных стоков.

## 1.2 Виды биохимической очистки сточных вод

Процесс очистки может быть одно-, двух- и более ступенчатым (рисунок 3) с дифференцированной организацией движения воды и ила [9]. Это определяется в зависимости от уровня расхода стока, концентрации и природы загрязнителей, требований к качеству очищенной воды.

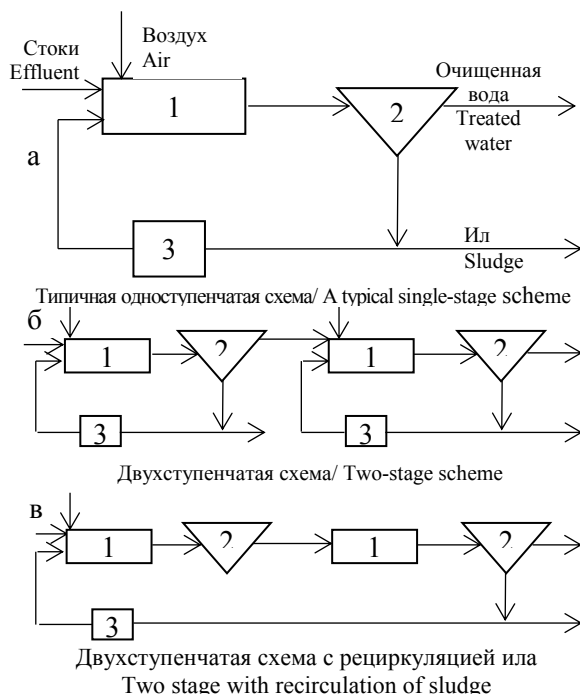


Рисунок 3. Различные способы организации биохимической очистки: 1 – аэротенк; 2 – вторичный отстойник; 3 – регенератор

Figure 3. Different ways of organizing biological treatment: 1 – aerotank; 2 – secondary clarifier; 3 – regenerator

В случаях высокой концентрации загрязнителей органического происхождения наиболее оптимальным будет двух- и более ступенчатая схема очистки. При этом на каждом этапе может культивироваться свой биоценоз для отдельной группы загрязнений.

При такой схеме очистки происходит рост результативности очистки, снижение объема установок и расходов на аэрацию, снижение объема извлекаемого избыточного ила, увеличение выдержки аэротенков при резких колебаниях количества и уровня загрязненности исходных стоков.

Установка биохимической взаимосвязана с аппаратами механической, химической, физико-химической очистки и локальными очистными сооружениями. До поступления на биохимическую очистку сточные воды предварительно проходят аварийный амбар, песколовки, нефтеловушки, пруды дополнительного отстоя, песчаные фильтры, флотаторы и т. д. Это продлевается для наиболее полной очистки поступающих стоков до предельно допустимых для биологической очистки концентраций. После завершения этапа подготовки и смешения с промышленными стоками, вода отправляется на двухступенчатую очистку на аэротенках (рисунок 4) [10].

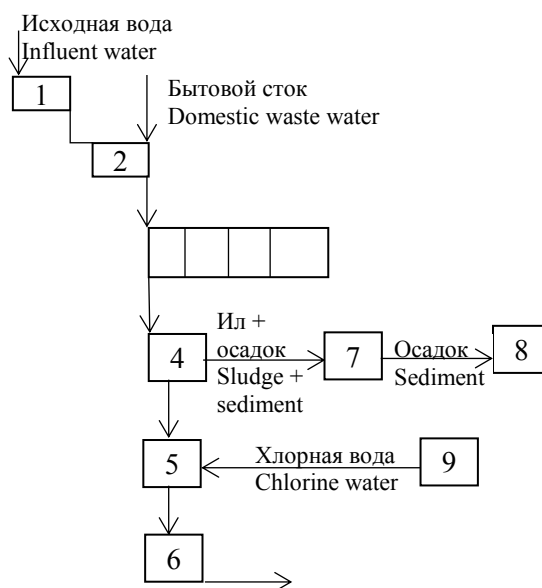


Рисунок 4. Схема компоновки узла биохимической очистки: 1 – усреднитель; 2 – смеситель; 3 – каскад аэротенков; 4 – отстойник; 5 – смешение с хлорной водой; 6 – контактные резервуары; 7 – илоуплотнитель; 8 – метантенк; 9 – склад хлора

Figure 4. Scheme of component units for biochemical treatment: 1 – averager; 2 – adder; 3 – cascade of aerotanks; 4 – clarifier; 5 – mixing with chlorine water; 6 – contact tanks; 7 – sludge consolidation tank; 8 – methane-tank; 9 – chlorine stacker

После завершения первой ступени очистки эффективность удаления органических примесей достигает от 60 до 70%, после второй – до 95%.

По завершении этого этапа очищенные стоки поступают в биофильтры, до сброса их в водоем – в контактные резервуары для обеззараживания.

## 2 Результаты анализа по очистке сточных вод

Для определения эффективности биохимической очистки такой схемы провели анализ

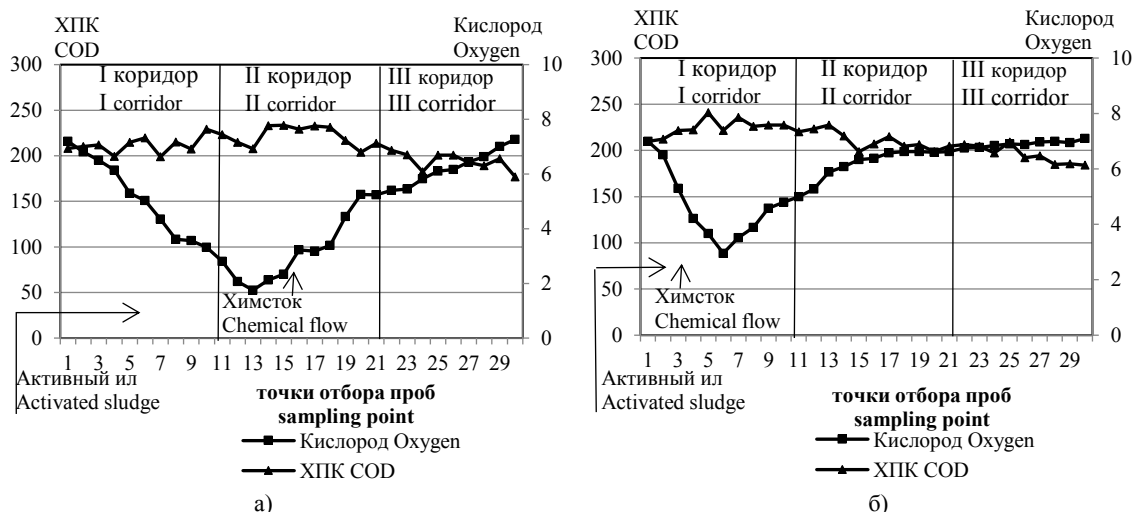


Рисунок 5. Кривые распределения  $O_2$  и ХПК по длине аэротенка: а – с максимальной зоной регенерации (43%); б – с минимальной зоной регенерации (4,3%)

Figure 5. Distribution curves  $O_2$  and chemical oxygen demand the length of the aerotank: а – maximum regeneration zone (43%); б – minimum regeneration zone (4,3%)

Как показано на рисунке 5 по длине зоны биоокислительного процесса, максимальное значение ХПК и наименьшее содержание  $O_2$  в смеси находится на уровне сечения выпуска сточных вод.

Снижение количества  $O_2$  и возрастание ХПК на этапе ввода стоков объясняется разбавлением смеси химическим стоком и увеличением скорости окисления, а также потреблением  $O_2$  на окисление субстрата. Такие причины обусловлены недостаточностью перемешивания смеси.

Недостаточность перемешивания смеси происходит из-за того, что потоки активного ила подаются под углом 90° точно с торца коридора аэротенка. Таким образом, сосредоточенная подача циркуляционного ила и рассредоточенная подача стоков через окна не позволяют эффективно смешивать стоки, ил, воздух, подтверждением чего являются падение кислорода и резкий скачок ХПК на кривых распределения  $O_2$  и ХПК (рисунок 5) по длине аэротенка с рассредоточенной подачей химстока.

Для улучшения перемешивания активного ила с химстоком и повышения результативности очистки воды, предлагается следующая технологическая схема очистки сточных вод.

В технологическую схему полной биологической очистки включены сооружения для его специальной обработки.

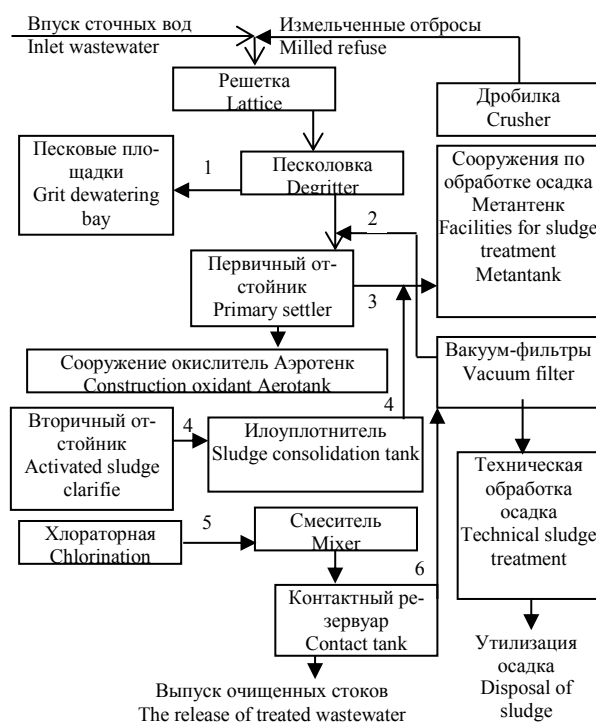


Рисунок 6. Технологическая схема полной биологической очистки сточных вод: 1 – песчаная пульпа, 2 – иловая вода, 3 – осадок, содержащий органику, 4 – ил, 5 – хлорная вода, 6 – осадок

Figure 6. Technological scheme of complete biological wastewater treatment: 1 – sand slurry, 2 – sludge water, 3 – precipitate containing organics, 4 – sludge, 5 – chlorine water, 6 – settling

Технологическая схема полной биологической очистки представляет собой комплекс очистных сооружений, которые располагаются таким образом, что сточная жидкость, проходя

их последовательно одно за другим, подвергается механической, биологической очистке и дезинфекции перед спуском ее в водоем.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Wunderlin P. Mechanisms of  $N_2O$  production in biological wastewater treatment under nitrifying and denitrifying conditions // *Water Research*. 2012. P. 1027–1037.
- 2 Каратаев О.Р., Новиков В.Ф., Шамсутдинова З.Р. Моделирование процессов растворения химических реагентов в потоках воды // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. № 22. С. 45–47.
- 3 Кадьрова А.М. Биохимические основы методов биологической очистки сточных вод // *Научный вестник технологического института*. 2014. № 13. С. 315–326.
- 4 Минаева Л.А., Дударев В.И. Современные методы деманганации природных и сточных вод // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2014. № 5 (10). С. 76–81.
- 5 Назаров В.Д., Назаров М.В. Глубокая очистка нефтесодержащих вод с применением искровых разрядов // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2015. № 9. С. 12–16.
- 6 Popowich A., Zhang Q., Le X.C. Removal of nanoparticles by coagulation // *Journal of Environmental Sciences*. 2015. P. 168–171.
- 7 Westerhoff P.K., Kiser M.A., Hristovski K. Nanomaterial removal and transformation during biological wastewater treatment // *Environmental Engineering Science*. 2013. P. 109–117.
- 8 Puay N.-Q. Effect of Zinc oxide nanoparticles on biological wastewater treatment in a sequencing batch reactor // *Journal of Cleaner Production*. 2015. P. 139–145.
- 9 Dongbo W., Yinguang Ch. Critical review of the influences of nanoparticles on biological wastewater treatment and sludge digestion // *Critical Reviews in Biotechnology*. 2016. P. 1–13.
- 10 Елифанов В.Д. Микробиология сточных вод // *Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология*. 2014. № 18. С. 70–76.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Зухра Р. Шамсутдинова** студент, кафедра биомедицинской инженерии и управления инновациями, Инженерный институт Казанского (Приволжского) федерального университета, ул. Сайдашева, 12, г. Казань, 420021, Россия, zuhrush92@mail.ru  
**Ильдар И. Хафизов** к. т. н., заместитель директора по образовательной деятельности, Инженерный институт Казанского (Приволжского) федерального университета, ул. Сайдашева, 12, г. Казань, 420021, Россия, khafizov@kpfu.ru

## КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Зухра Р. Шамсутдинова** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела анализ, выполнила расчёты  
**Ильдар И. Хафизов** консультация в ходе исследования

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 26.10.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 21.11.2016

## REFERENCES

- 1 Wunderlin P. Mechanisms of  $N_2O$  production in biological wastewater treatment under nitrifying and denitrifying conditions. *Water Research*. 2012, pp. 1027–1037.
- 2 Karataev O.R., Novikov V.F., Shamsutdinova Z.R. Modelling of processes of dissolution of chemicals in water flows. *Vestnik KGTU* [Bulletin of Kazan Technological University] 2013, no. 22. (in Russian).
- 3 Kadyrova A.M. Basis of biological wastewater treatment. *Nauchnyi vestnik tekhnologicheskogo instituta* [Scientific Bulletin of Institute of Technology] 2014, no. 13, pp. 315–326. (in Russian)
- 4 Minaeva L.A., Dudarev V.I. Modern methods of natural water and sewage demanganization. *Izvestiya vuzov* [Proceedings of the universities. Applied Chemistry and Biotechnology] 2014. no 5 (10). pp. 76–81. (in Russian)
- 5 Nazarov V.D., Nazarov M.V. Deep purification of oil-containing waters with application of spark categories. *Zashchita okruzhayushchei sredy* [Environmental protection in the oil and gas industry] 2015. no 9. pp 12–16. (in Russian)
- 6 Popowich A., Zhang Q., Le X.C. Removal of nanoparticles by coagulation. *Journal of Environmental Sciences*. 2015, pp. 168–171.
- 7 Westerhoff P.K., Kiser M.A., Hristovski K. Nanomaterial removal and transformation during biological wastewater treatment. *Environmental Engineering Science*. 2013. pp. 109–117.
- 8 Puay N.-Q. Effect of Zinc oxide nanoparticles on biological wastewater treatment in a sequencing batch reactor. *Journal of Cleaner Production*. 2015. pp. 139–145.
- 9 Dongbo W., Yinguang Ch. Critical review of the influences of nanoparticles on biological wastewater treatment and sludge digestion. *Critical Reviews in Biotechnology*. 2016. pp. 1–13.
- 10 Epifanov A.V. Microbiology of wastewater. *Al'ternativnaya energetika i ekologiya* [International scientific journal life and ecology] 2014. no 18, pp. 70–76 (in Russian).

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Zukhra R. Shamsutdinova** student, Biomedical Engineering and Innovation Management department, Engineering Institute Kazan Federal University, Saidashev st., 12, Kazan, 420021, Russia, zuhrush92@mail.ru  
**Ildar I. Khafizov** candidate of technical sciences, deputy director of the educational part, Engineering Institute Kazan Federal University, Saidashev st., 12, Kazan, 420021, Russia, khafizov@kpfu.ru

## CONTRIBUTION

**Zukhra R. Shamsutdinova** review of the literature on an investigated problem, conducted analysis, performed computations  
**Ildar I. Khafizov** consultation during the study

## CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.26.2016

ACCEPTED 11.21.2016