ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-32

DEVELOPMENT AND SIMULATION OF THE OPERATION OF A TWO-STAGE SEDIMENTATION FOR TREATMENT OF URBAN WASTE WATER

A.E. Novikov¹, M.I. Filimonov¹, E.A. Dugin¹, S.V. Tronev²

¹*Federal State Budget Institution*

«All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture», Volgograd

²*Volgograd State Agrarian University, Volgograd*

Received 01.02.2021

Submitted 10.03.2021

*The article was prepared with the support of the grant
of the President of the Russian Federation MD-311.2020.11.*

Summary

The article presents the results of a study of urban wastewater treatment in a standard sump and in a sump with aeration elements to disperse fine air bubbles. The calculation was carried out for the treatment facilities of a settlement per 100,000 people.

Abstract

Introduction. One of the main reasons for the increase in the ecological tension of aquatic ecosystems remains the discharge into water bodies of domestic wastewater containing suspended and toxic substances, including pathogenic microorganisms. This is due to the imperfection of water treatment technologies, including due to wear and tear of utility networks and violations in the technological process, accompanied by burst emissions. With a rational approach to the use of water resources and the use of modern scientific and technological advances in wastewater treatment processes, a well-prepared liquid phase can be used for irrigation needs in agricultural production of crop products. Thus, the aim of the study was to intensify the process of urban wastewater treatment by agglomeration of suspended particles without the use of flocculants. The paper describes the design of a sedimentation tank with aeration elements for clarifying urban wastewater, providing an increase in the efficiency of sedimentation of suspended solids. Dispersion of finely dispersed air bubbles promotes collision and enlargement of aggregate-unstable elements without the use of coagulants and flocculants. **Object.** The object of research is urban wastewater, its component composition and the efficiency of gravity in sedimentation tanks of various configurations. **Materials and methods.** As a result of the analysis of the operation of a standard sump, a modernization option was proposed using aeration elements that ensure fine dispersion of air bubbles. The basis of the sump is a cylindrical reinforced concrete tank with a conical bottom, which provides collection and accumulation of settled sludge. Sediment troughs made of polymer sheets are installed inside the cylindrical part. To intensify the separation of suspended solids, the lower walls of the troughs are made inclined with slotted slots connecting the working area of the sedimentary troughs with the sludge chamber. From the outer part of the gutters along their entire length, aerators are located, providing fine dispersion of air bubbles. On the basis of deterministic and stochastic modeling approaches, an algorithm for calculating the efficiency of gravitational wastewater clarification is proposed. The main indicator of the efficiency of the sedimentation tanks is the integral degree of purification, calculated as the sum of the local degrees of collection. **Results and conclusion.** During the operation of a two-tier sedimentation tank, contaminated wastewater enters a reinforced concrete cylindrical tank and is distributed along sedimentary troughs. To turbulize the flow of wastewater and intensify the oxidation of nutrients along the entire length of the gutters, fine-bubble aerators are installed on the outside. The action of these factors ensures the collision of suspended solids and their agglomeration. The formed sludge sediment, sedimented on the inclined parts of the gutters, slides through the slots into the sludge chamber. Here it gathers and condenses. Further, streams of purified water from sediment troughs and sludge chamber

are mixed in the outlet header and fed to the next stages of treatment. As a result of simulation modeling, it was found that all considered sedimentation tanks provide the same efficiency of urban wastewater clarification at the level of 0.97 with a nominal particle diameter of the dispersed phase of 425 microns. To achieve the specified clarification efficiency, the required settling surface of a standard clarifier is 90.3 m². When using the proposed design with aeration elements and an air flow rate of 2 m³/(m²·h), the deposition surface is reduced to 87.14 m². An increase in air consumption up to 52 m³/(m²·h) reduces the required clarification surface to 83.98 m².

Key words: urban waste water, two-level sump, purification degree, deposition surface.

Citation. Novikov A.E., Filimonov M.I., Dugin E.A., Tronev S.V. Development and simulation of the operation of a two-stage sedimentation for treatment of urban waste water. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 1(61). 337-347 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-32.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.363.282

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ДВУХЪЯРУСНОГО ОТСТОЙНИКА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД

А. Е. Новиков¹, доктор технических наук

М. И. Филимонов¹, младший научный сотрудник

Е. А. Дугин¹, аспирант

С. В. Тронеv², доктор технических наук

¹ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,
г. Волгоград

²Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

Дата поступления в редакцию 01.02.2021

Дата принятия к печати 10.03.2021

**Статья подготовлена при поддержке гранта Президента Российской Федерации
МД-311.2020.11.**

Актуальность. Одной из основных причин усиления экологической напряженности водных экосистем остается сброс в водоемы хозяйственно-бытовых сточных вод, содержащих токсичные вещества и патогенные микроорганизмы. Это связано с несовершенством технологического процесса, сопровождающегося залповыми выбросами. Снижение антропогенной нагрузки на водные объекты возможно путем ретехнологизации различных стадий обработки сточных вод. В работе описана конструкция отстойника с аэрационными элементами для осветления городских сточных вод, обеспечивающая повышение эффективности седиментации взвешенных веществ. Диспергирование мелкодисперсных пузырьков воздуха способствует столкновению и укрупнению агрегатно-неустойчивых элементов без использования коагулянтов и флокулянтов. **Объект.** Объектом исследования являются городские сточные воды, их компонентный состав и эффективность гравитационного осветления в отстойниках различной конфигурации. **Материалы и методы.** В результате анализа работы стандартного отстойника был предложен вариант модернизации с использованием аэрационных элементов, обеспечивающих мелкодисперсное диспергирование пузырьков воздуха. На основе детерминированного и стохастического подходов моделирования предложен алгоритм расчета эффективности гравитационного осветления сточных вод. Основным показателем эффективности работы отстойников выбрана интегральная степень очистки, рассчитываемая как сумма локальных степеней улавливания. **Результаты и выводы.** В результате имитационного моделирования установлено, что все рассматриваемые отстойники обеспечивают одинаковую эффективность осветления городских

сточных вод на уровне 0,97 при номинальном диаметре частиц дисперсной фазы 425 мкм. Для обеспечения указанной эффективности осветления требуемая поверхность осаждения стандартного отстойника составляет 90,3 м². При использовании предложенной конструкции с аэрационными элементами и расходом воздуха 2 м³/(м²·ч) поверхность осаждения снижается до 87,14 м². Увеличение расхода воздуха до 5 2 м³/(м²·ч) способствует сокращению требуемой поверхности осветления до 83,98 м².

Ключевые слова: городские сточные воды, двухъярусные отстойники, степень очистки сточных вод, очистка сточных вод.

Цитирование. Новиков А. Е., Филимонов М. И., Дугин Е. А., Тронеv С. В. Разработка и моделирование работы двухъярусного отстойника для очистки городских сточных вод. *Известия НВ АУК*. 2021. 1(61). 337-347. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-32.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Высокие темпы глобальной урбанизации и рост численности населения обуславливают возникновение дефицита пресной воды и ежегодное увеличение объемов хозяйственно-бытовых сточных вод. Многие исследователи сходятся во мнении, что современные системы водоснабжения и канализации должны обеспечивать не только управление водными ресурсами, но и восстановление их природного потенциала [11, 16]. Основным направлением использования очищенных стоков выступает сельскохозяйственный сектор экономики, который ежегодно потребляет до 70 % водных ресурсов от общего объема водозабора [14]. В состав городских сточных вод входит широкий спектр химических элементов, таких как мышьяк As, кобальт Co, свинец Pb и биогенные вещества, которые оказывают негативное воздействие на здоровье людей и животных. Поэтому безопасное использование стоков в оросительных мелиорациях возможно лишь после их предварительной обработки на очистных сооружениях. Рассмотрение городской канализационной инфраструктуры предполагает поступление в нее хозяйственно-бытовых сточных вод, сформированных в результате жизнедеятельности населения, и поверхностного стока, состоящего из дождевых и талых вод. На рисунке 1 представлены основные загрязняющие вещества, находящиеся в таких стоках [9].

Рисунок 1 – Компонентный состав городских сточных вод

Picture 1 – Component composition of urban wastewater

Анализируя представленные данные, можно сделать вывод, что одним из основных загрязнителей являются механические примеси и биогенные элементы, находящиеся во взвешенном состоянии.

На очистных сооружениях для удаления взвешенных веществ широкое распространение получили отстойники. Повсеместное применение этих аппаратов обусловлено простотой их конструкции, высокой энергоэффективностью и длительным сроком эксплуатации. Основным недостатком отстойников остается недостаточная степень улавливания мелкодисперсных примесей, находящихся во взвешенном состоянии. В результате многолетних исследований китайскими учеными установлено, что средний показатель эффективности работы очистных сооружений Китая составляет 0,51. Авторы отмечают необходимость совершенствования существующих технологий обработки городских стоков [13]. Анализ работы отечественных очистных сооружений показал, что эффективность удаления взвешенных веществ колеблется от 0,8 до 0,92 в зависимости от используемых технологий и оборудования. В своих работах [2, 5, 10, 17, 18] ученые сходятся во мнении о необходимости ретехнологизации существующих процессов очистки стоков.

Перспективным направлением интенсификации седиментации взвешенных веществ в отстойниках считается укрупнение агрегатно-неустойчивых механических примесей, в результате чего происходит увеличение массы частиц и повышение скорости их осаждения. Описанный способ предполагает использование различных коагулянтов и флокулянтов, выбор которых зависит от свойств очищаемой жидкости [11, 15]. Недостатком данного способа является необходимость содержания реагентного хозяйства, а также оперативный контроль в узких пределах концентрации флокулянта.

Таким образом, цель исследования состояла в интенсификации процесса очистки городских сточных вод путем агломерации взвешенных частиц без использования флокулянтов.

Материалы и методы. Для совершенствования процесса очистки городских сточных вод была разработана конструкция двухъярусного отстойника, схема которого показана на рисунке 2. Основу отстойника составляет железобетонный резервуар 1 ци-

линдрической формы с коническим днищем, обеспечивающий сбор и накопление осевшего ила 5. Внутри цилиндрической части установлены осадочные желоба 3 из листов полимерного материала. Для интенсификации отделения взвешенных веществ нижние стенки желобов выполнены наклонными со щелевыми прорезями, соединяющими рабочую зону осадочных желобов с иловой камерой 2. С наружной части желобов по всей их длине располагаются аэраторы 4, который обеспечивает мелкодисперсное диспергирование пузырьков воздуха.

Конструкция отстойника обеспечивает повышение эффективности очистки жидкости за счет укрупнения частиц дисперсной фазы.

Рисунок 2 – Двухъярусный отстойник для очистки сточных вод
(Патент на п.м. 180835)

Picture 2 – Double Deck Sump for Wastewater Treatment (Utility model patent 180835)

Свободную поверхность отстойника, необходимую для эффективной очистки сточных вод, определяли расчетным методом при условии, когда время пребывания рассматриваемых дисперсных частиц τ_n больше или равно времени их осаждения τ_{oc} [7, 8]:

$$\frac{v}{v_{ном}} = 1,5 \left(\frac{h}{H} \right)^2 - 0,5 \left(\frac{h}{H} \right)^3, \quad (1)$$

где v - скорость осаждения частиц каждой фракции, м/с; $v_{ном}$ - скорость осаждения частиц, улавливаемых на 100%, м/с; h - высота, с которой частицы каждой фракции успевают достичь дна отстойника, м.

Скорость осаждения частиц, улавливаемых на 100 %, определяли по зависимости:

$$v_{ном} = \frac{gd_{ном}^2(\rho_{тв} - \rho_{жид})}{18\mu}, \quad (2)$$

где $d_{ном}$ - диаметр частиц, улавливаемых на 100%, м; $\rho_{тв}$ - плотность частиц твердой фазы, кг/м³; $\rho_{жид}$ - плотность жидкой фазы, кг/м³; μ - вязкость жидкости, Па·с; $g = 9,81$ м/с² - ускорение свободного падения.

Полагаем, что если взвешенные частицы равномерно распределяются во входном потоке, то соотношение h/H характеризует долю улавливаемых частиц χ , осаждающихся со скоростью $v \leq v_{ном}$.

Принимая во внимание сферическую форму частиц, а также ламинарный режим осаждения, получим:

$$\left(\frac{d_i}{d_{ном}} \right) = 1,5\chi^2 - 0,5\chi^3, \quad (3)$$

где d_i – диаметр частиц каждой фракции, м.

Зная плотность распределения частиц по фракциям C , локальную степень улавливания рассчитывали по формуле:

$$C_{ул} = C \cdot \chi. \quad (4)$$

Суммируя локальные степени улавливания частиц, определим общую степень очистки:

$$\eta = \sum_{i=1}^n C_{ул}. \quad (5)$$

Таким образом, задаваясь требуемой степенью очистки χ , диаметром частиц, улавливаемых на 100 % и расходом исходной суспензии q , определяли требуемую поверхность отстойника:

$$F = \frac{q}{v_{ном}}. \quad (6)$$

Описанный алгоритм расчета характеризует стандартные конструкции отстойников и не учитывает наличия дополнительных элементов, таких как аэраторы.

Результаты и обсуждение. Во время работы двухъярусного отстойника хозяйственно-бытовые сточные воды со взвешенными веществами поступают в железобетонный резервуар 1 и распределяются по осадочным желобам 3. По мере прохождения потока иловая фракция под действием гравитационных сил осаждается по наклонной части желобов и через щелевые отверстия сползает в иловую камеру 2. Непрерывное движение потока воды по осадочным желобам сопровождается диспергированием воздуха через аэраторы 4, установленные по всей длине с наружной стороны желобов. Мелкодисперсные пузырьки воздуха обеспечивают турбулизацию потока сточных вод и появление дополнительных инерционных сил. Совокупное действие этих факторов способствует прямому столкновению агрегатно-неустойчивых взвешенных веществ и укрупнению их размеров. В результате гравитационной коагуляции происходит захват мелких частиц более крупными фракциями, что приводит к максимальному попаданию осадка в иловую камеру. В иловой камере происходит седиментация оставшейся мелкодисперсной фракции взвешенных веществ и, благодаря конической форме днища железобетонного резервуара, сбор и уплотнение осадка в нижней точке отстойника. После отделения механических примесей потоки очищенной воды из осадочных желобов и иловой камеры смешиваются в выходном коллекторе и поступают на следующие стадии очистки.

При расчете требуемой поверхности отстойника исходили из средней нормы водоотведения на одного человека, которая составляет 350 л/сут [6]. Используя данные на рисунке 1, принимали начальную концентрацию взвешенных веществ как суммарное количество механических примесей в хозяйственно-бытовом и дренажном стоке. Анализ работ, посвященных изучению фракционного состава взвешенных веществ, позволил установить, что номинальный диаметр частиц дисперсной фазы составляет 420 мкм [4]. Задаваясь требуемой степенью очистки на уровне 0,95, составим таблицу 1 исходных данных для расчета отстойника очистных сооружений на 100 000 человек.

Таблица 1 – Исходные и справочные данные для расчета отстойника

Table 1 – Initial and reference data for calculating the settler

Параметр / Parameter	Обозначение / Designation	Размерность / Units	Значение / Value
Расход сточных вод / Wastewater consumption	q	м ³ /час / m ³ /h	1800
Начальная концентрация взвешенных веществ / Initial concentration of suspended solids	$x_{нач}$	г/л / g/l	210
Требуемая степень очистки / Required degree of purification	η	-	0,95
Диаметр частиц, улавливаемых на 100% / Diameter of particles captured at 100%	$d_{ном}$	мкм / mk	420
Плотность частиц твердой фазы / Solid phase particle density	$\rho_{тв}$	кг/м ³ / kg/m ³	1050
Плотность жидкой фазы / Density of the liquid phase	$\rho_{жид}$	кг/м ³ / kg/m ³	998
Вязкость жидкой фазы / Fluid viscosity	μ	Па·с / Pa·s	0,001

При расчете требуемой поверхности отстойника необходимо учитывать коэффициент аэрации, характеризующий повышение эффективности седиментации за счет турбулизации жидкостного слоя. В работе по изучению методов интенсификации осветления сточных вод [1] отмечается повышение эффективности осаждения взвешенных веществ на 10-15 % за счет диспергирования воздуха в поток сточных вод. Известны экспериментальные исследования [10], в которых описаны результаты осветления сточных вод с применением аэрации. Согласно полученным данным, диспергирование мелкодисперсных пузырьков воздуха с расходом 2 м³/(м²·ч) обеспечивает повышение эффективности седиментации взвешенных веществ на 3-4 %. Увеличение расхода воздуха до 5 м³/(м²·ч) способствует интенсификации осветления на 7 %. Учитывая эти результаты, рассчитаем требуемые поверхности для вариантов отстойника типовой и разработанной конструкции с различным режимом аэрации. Результаты математических вычислений представлены на рисунке 3.

Рисунок 3 – Требуемая поверхность отстойников для осветления городских сточных вод

Picture 3 – Required surface of clarifiers for urban wastewater clarification

Выводы. Размер частиц дисперсной составляющей может изменяться в широком диапазоне, что обусловлено различными антропогенными и природными факторами. Используя среднее значение водоотведения на одного человека, методом численного эксперимента выполнили расчет необходимой поверхности стандартного отстойника и отстойника предложенной конструкции для городских очистных сооружений с учетом выхода стоков на 100 000 человек. Установлено, что все рассматриваемые отстойники обеспечивают одинаковую степень осветления, которая варьируется в зависимости от фракционного состава частиц. Для частиц размером 425 мкм интегральная степень очистки составляет 0,97, при этом требуемая поверхность осаждения стандартного отстойника равна 90,3 м². При использовании предложенной конструкции, с аэрацией 2,0 м³/(м²·ч), необходимая поверхность осаждения составляет 87,1 м². Увеличение расхода воздуха в аэраторе до 5,0 м³/(м²·ч) обуславливает снижение требуемой поверхности осветления до 84,0 м².

Библиографический список

1. Голосной С. А., Гордиенко Н. А., Пещеркина С. Ю. Современные методы интенсификации работы очистных сооружений при первичном осветлении городских сточных вод // Наука сегодня: реальность и перспективы: материалы международной научно-практической конференции. 2019. С. 13-16.
2. Данилович Д. А. Экологическая эффективность использования НТД на очистных сооружениях: экономический анализ // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2017. № 1. С. 6-11.
3. Долженко Л. А., Клещев В. В., Мурадян А. А. Анализ эффективности работы городских очистных сооружений на базе наилучших доступных технологий // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2017. № 3. С. 101-109.
4. Дроздов Е. В., Журавлева И. В. Закономерности распределения фракционного состава загрязнений сточных вод // Российский инженер. 2015. № 1. С. 23-28.
5. Зубкова В. В., Волосникова Г. А. Оценка эффективности работы очистных сооружений канализации г. Зоя // Ученые заметки ТОГУ. 2019. № 2. С. 12-18.
6. Канализация. Наружные сети и сооружения: СП 32.13330.2018. Утв. Приказом Министерства строительства и коммунального хозяйства РФ от 25.12.2018 №860/пр. введ. 26.06.2019. 110 с.
7. Милова Д. А., Голованчикова А. Б., Панов В. А. Моделирование работы двухслойного отстойника // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2011. № 1. С. 97-101.
8. Моделирование гидродинамических и биозкологических процессов очистки многокомпонентных систем от дисперсной фазы: монография / А. Е. Новиков, А. Б. Голованчиков, Е. А. Дугин, М. И. Филимонов. Волгоград: ВолгГТУ, 2019. 200 с.
9. Панкова Г. А., Рублевская О. Н., Леонов Л. В. Оценка качественного состава хозяйственно-бытового стока на примере Санкт-Петербурга // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. № 12. С. 46-53.
10. Первичное отстаивание сточных вод, обработанных в преаэраторе с затопленной загрузкой / Б. М. Гришин, М. В. Бикунова, А. И. Шеин, Е. А. Титов // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 1. С. 132-137.
11. Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: New action mechanisms / M. Maraschin, K. F. Ferrari Hedlund, E. Carissimi // Separation and Purification Technology. Vol. 252. No. 117417.
12. Assessment of the production of biodiesel from urban wastewater-derived lipids / Z. Frkova, S. Venditti, S. Herr, J. Hansen // Resources, Conservation and Recycling. 2020. Vol. 162. No. 105044.
13. Efficiency evaluation of urban wastewater treatment: Evidence from 113 cities in the Yangtze River Economic Belt of China / D. Pan, W. Hong, F. Kong // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 270. No. 110940.

14. Effluent quality and reuse potential of urban wastewater treated with aerobic-anoxic system: A practical illustration for environmental contamination and human health risk assessment / A. Guadie, A. Yesigat, Sh. Gatew [et al.] // *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Vol. 40. No. 101891.

15. Innovative technology of municipal wastewater treatment for rapid sludge sedimentation and enhancing pollutants removal with nano-material / W. He, Q. Wang, Y. Zhu and [et al.] // *Biore-source Technology*. Vol. 324. No. 124675.

16. Mathematically formulated key performance indicators for design and evaluation of treatment trains for resource recovery from urban wastewater / M. O. Schik, S. Sucu, H. J. Cappon [et al.] // *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 282. No. 111916.

17. Modeling a biological wastewater treatment system / A. E. Novikov, M. I. Filimonov, E. A. Dugin, A. B. Golovanchikov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture II (Volgograd, Russian Federation, 10-11 May 2020): Proceedings of International Conference / Volgograd State Agricultural University*. [IOP Publishing], 2020. Vol. 577. 7 p. doi:10.1088/1755-1315/577/1/012010.

18. Modeling of enzymatic waste water treatment / A. Novikov, M. Lamskova, E. Dugin, M. Filimonov and et al. // *Journal of Physics: Conference Series: Virtual Simulation, Prototyping and Industrial Design 2019 (Tambov, Russia, 16-18 October, 2019): VI International Scientific and Practical Conference / Tambov State Technical University*. [IOP Publishing], 2020. Vol. 1553. 7 p. doi:10.1088/1742-6596/1553/1/012023.

Conclusion. The particle size of the dispersed component can vary over a wide range, due to various anthropogenic and natural factors. Using the average value of wastewater disposal per person, we calculated the required surface of a standard sump and sump of the proposed design for urban wastewater treatment plants using a numerical experiment, taking into account the effluent output per 100000 people. It has been established that all considered sedimentation tanks provide the same degree of clarification, which varies depending on the fractional composition of particles. For particles with a size of 425 microns, the integral degree of purification is 0.97, while the required settling surface of a standard sump is 90.3 m². When using the proposed design, with aeration of 2.0 m³/(m²·h), the required deposition surface is 87.1 m². An increase in the air consumption in the aerator up to 5.0 m³/(m²·h) causes a decrease in the required clarification surface to 84.0 m².

References

1. Golosnoj S. A., Gordienko N. A., Pescherkina S. Yu. *Sovremennye metody intensivifikacii raboty ochistnyh sooruzhenij pri pervichnom osvetlenii gorodskih stochnyh vod* // *Nauka segodnya: real'nost' i perspektivy: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 2019. P. 13-16.

2. Danilovich D. A. *Jekologicheskaya jeffektivnost' ispol'zovaniya NTD na ochistnyh sooruzheniyah: jekonomicheskij analiz* // *Nailuchshie dostupnye tehnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2017. № 1. P. 6-11.

3. Dolzhenko L. A., Kleshev V. V., Muradyan A. A. *Analiz jeffektivnosti raboty gorodskih ochistnyh sooruzhenij na baze nailuchshih dostupnyh tehnologij* // *Obrazovanie i nauka v sovremen-nom mire. Innovacii*. 2017. № 3. P. 101-109.

4. Drozdov E. V., Zhuravleva I. V. *Zakonomernosti raspredeleniya frakcionnogo sostava zag-ryaznenij stochnyh vod* // *Rossijskij inzhener*. 2015. № 1. P. 23-28.

5. Zubkova V. V., Volosnikova G. A. *Ocenka jeffektivnosti raboty ochistnyh sooruzhenij kan-alizacii g. Zeya* // *Uchenye zametki TOGU*. 2019. № 2. P. 12-18.

6. *Kanalizaciya. Naruzhnye seti i sooruzheniya*: SP 32.13330.2018. Utv. Prikazom Ministerstva stroitel'stva i kommunal'nogo hozyajstva RF ot 25.12.2018 №860/pr. vved. 26.06.2019. 110 p.

7. Milova D. A., Golovanchikova A. B., Panov V. A. *Modelirovanie raboty dvuh-sloj-nogo otstojni-ka* // *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo uni-versiteta*. 2011. № 1. P. 97-101.

8. *Modelirovanie gidrodinamicheskikh i biojologicheskikh processov ochistki mnogokompo-nentnyh sistem ot dispersnoj fazy: monografiya* / A. E. Novikov, A. B. Golovanchikov, E. A. Dugin, M. I. Filimonov. Volgograd: VolGTU, 2019. 200 p.

9. Pankova G. A., Rublevskaya O. N., Leonov L. V. Ocenka kachestvennogo sostava hoz'yajstvenno-bytovogo stoka na primere Sankt-Peterburga // Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie. 2015. № 12. P. 46-53.
10. Pervichnoe otstaivanie stochnykh vod, obrabotannykh v preajratore s zatoplennoj zagruzkoy / B. M. Grishin, M. V. Bikunova, A. I. Shein, E. A. Titov // Regio-nal'naya arhitektura i stroitel'stvo. 2017. № 1. P. 132-137.
11. Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: New action mechanisms / M. Maraschin, K. F. Ferrari Hedlund, E. Carissimi // Separation and Purification Technology. Vol. 252. No. 117417.
12. Assessment of the production of biodiesel from urban wastewater-derived lipids / Z. Frkova, S. Venditti, S. Herr, J. Hansen // Resources, Conservation and Recycling. 2020. Vol. 162. No. 105044.
13. Efficiency evaluation of urban wastewater treatment: Evidence from 113 cities in the Yangtze River Economic Belt of China / D. Pan, W. Hong, F. Kong // Journal of Environmental Management. 2020. Vol. 270. No. 110940.
14. Effluent quality and reuse potential of urban wastewater treated with aerobic-anoxic system: A practical illustration for environmental contamination and human health risk assessment / A. Guadie, A. Yesigat, Sh. Gatew [et al.] // Journal of Water Process Engineering. 2021. Vol. 40. No. 101891.
15. Innovative technology of municipal wastewater treatment for rapid sludge sedimentation and enhancing pollutants removal with nano-material / W. He, Q. Wang, Y. Zhu and [et al.] // Biore-source Technology. Vol. 324. No. 124675.
16. Mathematically formulated key performance indicators for design and evaluation of treatment trains for resource recovery from urban wastewater / M. O. Schik, S. Sucu, H. J. Cappon [et al.] // Journal of Environmental Management. 2021. Vol. 282. No. 111916.
17. Modeling a biological wastewater treatment system / A. E. Novikov, M. I. Filimonov, E. A. Dugin, A. B. Golovanchikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.: Mathematical Modeling of Technical and Economic Systems in Agriculture II (Volgograd, Russian Federation, 10-11 May 2020): Proceedings of International Conference / Volgograd State Agricultural University. [IOP Publishing], 2020. Vol. 577. 7 p. doi:10.1088/1755-1315/577/1/012010.
18. Modeling of enzymatic waste water treatment / A. Novikov, M. Lamskova, E. Dugin, M. Filimonov and et al. // Journal of Physics: Conference Series.: Virtual Simulation, Prototyping and Industrial Design 2019 (Tambov, Russia, 16-18 October, 2019): VI International Scientific and Practical Conference / Tambov State Technical University. [IOP Publishing], 2020. Vol. 1553. 7 p. doi:10.1088/1742-6596/1553/1/012023.

Authors Information

Novikov Andrey Evgenievich, acting director Federal State Budgetary Institution All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture (9, Timiryazev St., Volgograd, 400002, Russia),

E-mail: novikov-ae@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8051-4786

Filimonov Maksim Igorevich, Junior Researcher, Irrigation Reclamation Department, Federal State Budgetary Institution All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture (9, Timiryazev St., Volgograd, 400002, Russia) E-mail: maks.filimonov.1986@mail.ru
ORCID: orcid.org/0000-0002-1805-5670

Dugin Evgeny Alexandrovich, graduate student, Federal State Budgetary Institution All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture (9, Timiryazev St., Volgograd, 400002, Russia)

E-mail: dugin_evg@mail.ru. ORCID: orcid.org/0000-0002-2019-3028

Tronev Sergey Viktorovich, Professor of the Department «Operation and technical service of machines in agriculture», Volgograd State Agrarian University (26, University Avenue, Volgograd, 400002, Russia)

E-mail: stronev@mail.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5840-322X

Информация об авторах

Новиков Андрей Евгеньевич, врио директора ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (РФ, 400002, г. Волгоград, ул. им Тимирязева, 9),

E-mail: novikov-ae@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8051-4786

******* ИЗВЕСТИЯ *******

**НИЖНЕВОЛЖСКОГО АГРОУНИВЕРСИТЕТСКОГО КОМПЛЕКСА:
НАУКА И ВЫСШЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

№ 1 (61), 2021

Филимонов Максим Игоревич, младший научный сотрудник отдела оросительных мелиораций ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (РФ, 400002, г. Волгоград, ул. им Тимирязева, 9)

E-mail: maks.filimonov.1986@mail.ru ORCID: orcid.org/0000-0002-1805-5670

Дугин Евгений Александрович, аспирант, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия» (РФ, 400002, г. Волгоград, ул. им Тимирязева, 9)

E-mail: dugin_evg@mail.ru ORCID: orcid.org/0000-0002-2019-3028

Тронеv Сергей Викторович, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, 26).

E-mail: stronev@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5840-322X>