ESTIMATION OF WORKING CAPACITY OF SMALL-SIZED BIOLOGICAL TREATMENT PLANTS OF MUNICIPAL WASTE UNDER VARIABLE LOADS

A.E. Novikov¹, P.S. Vasilyev², E.A. Dugin¹, M.I. Filimonov¹

¹*Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Research Institute
of Irrigated Agriculture, Volgograd*

²*Volgograd State Technical University, Volgograd*

Received 26.05.2021

Submitted 30.08.2021

*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 comparative studies of sedimentation curves of the phase boundary for a typical small-sized biological wastewater treatment plant and an experimental station, in which an aeration tank and a secondary clarifier are technologically connected by a channel sludge separator. It has been proven that, under the same operating conditions, the trouble-free and reliable maintenance of the main technological parameters of operation for the experimental station with a duct desludger is 26.9% higher than for the «Eurobion» station.

Abstract

Introduction. The efficiency and environmental friendliness of the operation of biological wastewater treatment plants depends on the sedimentation properties of activated sludge. In case of malfunctions in the operation of treatment facilities, including volley discharges, activated sludge «swells», accompanied by a sharp decrease in the rate of its sedimentation and removal into the natural hydrographic network. If the technological regulations for biological treatment of domestic wastewater are observed and environmentally friendly separation products are obtained, they can be used in agriculture for fertilization and irrigation of forage, industrial and other crops. **Object.** The object of the study was the experimental and typical («Eurobion») small-sized biological treatment plants for domestic wastewater for individual residential buildings of suburban and rural infrastructure, kinetic curves of the phase boundary. **Materials and methods.** In the studies, a typical station «Eurobion» (option 1) and an experimental station with an intensifier of sludge separation (option 2) were studied. Both biological treatment plants of municipal wastewater are small-sized, with a capacity of 1000 l / day, technologically have aerobic and anaerobic zones with vertical zonal aeration and a secondary settling tank. The efficiency of the stations was assessed based on the experimental data of the kinetic curves of the phase separation and the results of their statistical analysis by correlation and regression methods. Hydrochemical determination of the sludge dose by volume and by dry weight with an output to the sludge index was carried out according to the methods of hydrobiological and bacteriological control of the biological treatment process at facilities with aeration tanks. Statistical analysis of field data consisted in testing the «null hypothesis» about the normality of the experimental distribution of a random variable V according to Kolmogorov's goodness-of-fit test, reduction of the physical conditions of the kinetics of the phase boundary to the regression equation. Regression coefficients were determined by the least squares method to confirm the homogeneity of the variances of a random variable, the significance of the regression coefficients and the adequacy of the regression equation were calculated by the statistical tests of Cochran, Student and Fisher using standard methods. The distribution of the confidence probability of the combined influence of the variables τ and I on the dependent V was determined in the ranges of the scatter of the values of the random variable V statistically significant for each station in parallel experiments. **Results and conclusion.** An experimental small-sized station for biological treatment of domestic wastewater includes an aeration tank, an intensifier of sludge separation - a channel sludge separator, a secondary clarifier, a reservoir of purified water, aerators and a transport system. In a duct sludge separator, wastewater passes sequentially through a flow divider, an agglomeration chamber for activated sludge flakes, a biofilter and a flow stabilizer. The agglomeration chamber is structurally made to ensure the residence time of wastewater from 10 to 20 minutes. Due to intensive mixing and agglomeration of small flakes with larger particles, the

gravitational effect is increased up to 20%. The obtained Kinsh curves under normal operating conditions of plants with a wastewater flow rate from 30 to 32 l / h and an oxygen concentration in the aerobic zone of 4.0 mg / l indicate rather high sedimentation characteristics of activated sludge. At the same time, more intensive sedimentation of activated sludge was observed in the samples of option 2, where the beginning of the compaction of settled sludge due to compression under the weight of the overlying layers was recorded from 18 minutes of observation, versus 24 minutes in a typical station. Under conditions of an increased flow rate (salvo discharge in the volume of 1210 l / h), the sludge index for a typical station was 119, which is 32% higher than that for an experimental sample. At the same time, in both versions, the beginning of the compaction of the settled sludge was recorded for 24 minutes. Under conditions that simulate the violation of sedimentation characteristics by reducing the oxygen concentration from 4.0 to 2.0 ... 0.5 mg / l, the best settling results were achieved in option 2 with a change in the sludge index from 131 to 182 versus 164 ... 220 in a typical biological treatment plant municipal waste water. Using the calculated values of the Fisher criterion F_r , the confidence probability p of the aggregate influence of τ and I on V was calculated using the MS Excel spreadsheet processor. In this case, the minimum value of the confidence probability is limited by the actual level of significance $q = 0.063 = 6.3\%$. It has been proven that, under the same conditions, the trouble-free and reliable maintenance of the main technological parameters of operation for a small-sized biological wastewater treatment plant with a channel sludge separator is 26.9% higher than for the Eurobion station.

Keywords: wastewater, biological treatment, small-sized stations, intensification of sludge separation, kinetic curves, reliability, exploitation, statistical analysis.

Citation. Novikov A.E., Vasilyev P.S., Dugin E.A., Filimonov M.I. Estimation of working capacity of small-sized biological treatment plants of municipal waste under variable loads. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 3(63). 344-355 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-36.

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 628.334.51

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАЛОГАБАРИТНЫХ СТАНЦИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ КОММУНАЛЬНЫХ СТОКОВ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ НАГРУЗКАХ

А. Е. Новиков¹, доктор технических наук, доцент

П. С. Васильев², кандидат технических наук

Е. А. Дугин¹, аспирант

М. И. Филимонов¹, кандидат технических наук

¹Всероссийский НИИ орошаемого земледелия, Волгоград

²Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Дата поступления в редакцию 26.05.2021

Дата принятия к печати 30.08.2021

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

Актуальность. Эффективность и экологичность работы станций биологической очистки сточных вод зависит от седиментационных свойств активного ила. При нарушениях в работе очистных сооружений, в том числе залповых сбросах, происходит «вспухание» активного ила, сопровождающееся резким снижением скорости его осаждения и выносом в природную гидрографическую сеть. При соблюдении технологического регламента биологической очистки бытовых сточных вод и получении экологически безопасных продуктов разделения они могут быть использованы в сельском хозяйстве для удобрения и орошения кормовых, технических и других культур. **Объект.** Объектом исследования являлись экспериментальная и типовая («Евробийон») малогабаритные станции биологической очистки бытовых сточных вод для индивидуальных жилых строений загородной и сельской инфраструктуры, кинетические кривые границы раздела

фаз. **Материалы и методы.** Оценку работоспособности станций проводили на основании опытных данных кинетических кривых раздела фаз и результатов их статистического анализа корреляционным и регрессионным методами. Гидрохимические определения дозы ила по объему и по сухому весу с выходом на иловый индекс проводили по методикам гидробиологического и бактериологического контроля процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками. Распределение доверительной вероятности совокупного влияния переменных τ и I на зависимую V определяли в статистически значимых для каждой станции диапазонах разброса значений случайной величины V в параллельных опытах. **Результаты и выводы.** Экспериментальная малогабаритная станция биологической очистки бытовых сточных вод включает аэротенк, интенсификатор илоотделения – канальный илоотделитель, вторичный отстойник, резервуар очищенной воды, аэраторы и систему транспорта. В канальном илоотделителе сточные воды последовательно проходят через делитель потока, камеру агломерации хлопьев активного ила, биофильтр и стабилизатор потока. Камера агломерации конструктивно выполнена с условием обеспечения времени пребывания сточных вод от 10 до 20 минут. За счет интенсивного перемешивания и агломерации мелких хлопьев с более крупными частицами гравитационный эффект увеличивается до 20 %. Выполненные исследования кинетических кривых раздела границы фаз для условий нормальной эксплуатации, а также приближенных к аварийным – при залповом сбросе сточных вод в объеме 1210 л/час и при снижении концентрации кислорода с 4,0 до 0,5 мг/л, доказали эффективность и экологичность работы экспериментальной станции с интенсификатором илоотделения. При одних и тех же условиях эксплуатации безаварийное и надежное поддержание основных технологических параметров работы для малогабаритной станции биологической очистки сточных вод с канальным илоотделителем на 26,9 % выше, чем для станции «Евробийон».

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка сточных вод, малогабаритные станции очистки, интенсификация илоотделения.

Цитирование. Новиков А. Е., Васильев П. С., Дугин Е. А., Филимонов М. И. Оценка работоспособности малогабаритных станций биологической очистки коммунальных стоков при переменных нагрузках. *Известия НВ АУК*. 2021. 3 (63). 344-355. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-36.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Эффективность и экологичность работы очистных сооружений определяется седиментационными свойствами активного ила. При их деградации возникает такое явление, как «вспухание» ила, сопровождающееся ростом илового индекса до значений $I = 150 \text{ см}^3/\text{г}$ и более [3, 7, 8]. В результате активный ил не успевает полностью отделиться от очищенной жидкости за время отстаивания во вторичном отстойнике и выносится в природную гидрографическую сеть [4]. В отсутствии рециркуляции активного ила в системе аэротенк – вторичный отстойник, а также толерантности биоценоза активного ила к агрессивным условиям среды глубокой деструкции загрязняющих компонентов не происходит и интегральная степень очистки сточных вод не достигает приемлемых значений. Как следствие, приходится останавливать работу очистных сооружений, проводить трудоемкие операции по пуску и наладке технологического процесса и оборудования [1, 6, 11].

При соблюдении регламента технологии биологической очистки коммунальных сточных вод и получении экологически безопасных продуктов разделения (иловой осадок сточных вод, осветленная вода) они могут быть использованы в сельском хозяйстве для удобрения и орошения кормовых, технических и других культур [9, 10, 12].

Целью исследования являлось изучение седиментационных свойств активного ила проектируемых малогабаритных станций биологической очистки сточных вод.

Материалы и методы. В исследованиях изучали типовую станцию «Евробийон» (патент №2455239) – вариант 1 и экспериментальную станцию с интенсификатором илоотделения (патент №173044) – вариант 2. Обе станции биологической очистки коммунальных сточных вод малогабаритные, производительностью 1000 л/сут, технологически имеют аэробную и анаэробную зоны с вертикальной зональной аэрацией и вторичным отстойником.

Оценку работоспособности станций проводили на основании кинетических кривых раздела границы фаз (кривые Кинша), полученных при переменных нагрузках (таблица 1) в режиме непрерывной эксплуатации в течение двух месяцев, и результатов их статистического анализа корреляционным и регрессионным методами.

Для построения кинетических кривых раздела границы фаз (седиментационных характеристик) по методикам гидробиологического и бактериологического контроля процесса биологической очистки на сооружениях с аэротенками (ПНД Ф СБ 14.1.77-96, ФР 1.31.2008.04397, ФР 1.31.2008.04398) выполняли гидрохимические определения дозы ила по объему (V , см³/дм³) и по сухому весу (d , г/дм³) с выходом на иловый индекс (см³/г) [2, 5]:

$$I = \frac{V}{d}. \quad (1)$$

При этом пробы иловой смеси отбирали с глубины 0,5 м (зона интенсивной аэрации и перемешивания) пробоотборником с объемом ковша 500 см³.

Таблица 1 – Показатели и режимы работы станций

Table 1 – Indicators and operating modes of stations

Показатель / Indicator	Режимы эксплуатации / Operating modes				
	нормальные условия / normal conditions	увеличенная скорость потока / increased flow rate	нарушение седиментационных характеристик / violation of sedimentation characteristics		
Приток стоков, л/час / Inflow of effluents, l/h	30-32				
Залповый сброс, л/час / Salvo discharge, l/h	-	1210	-	-	-
БПК5:N:P / BPK5:N:P	140:8:1,5				
pH, ед. / pH, units.	7,0				
Температура, °C / Temperature, °C	20				
Концентрация O ₂ , мг/л / Concentration O ₂ , mg/l	4,0	4,0	2,0	1,0	0,5

Для получения репрезентативных данных о состоянии агломерации хлопьев и седиментационных характеристик активного ила определение дозы ила по объему и по сухому весу, расчет илового индекса проводили индивидуально по каждой пробе.

Построение кинетических кривых раздела границы фаз осуществляли следующим образом. Отобранную иловую смесь выдерживали в лаборатории до достижения ею температуры окружающей среды (не более 25 °C). После этого иловую смесь тщательно перемешивали, наливали в мерный цилиндр объемом 1 дм³, установленный на горизонтальной плоскости, и включали секундомер. Через каждые 3 минуты фиксировали объем (в см³), занимаемый оседающей массой активного ила. Через 30 минут отстаивания определяли окончательное значение дозы ила по объему.

Статистический анализ натурных данных заключался в проверке «нулевой гипотезы» о нормальности экспериментального распределения случайной величины V по

критерию согласия Колмогорова, приведении физических условий кинетики границы раздела фаз к единому регрессионному уравнению вида:

$$V = A \cdot \tau^b \cdot I^c, \quad (2)$$

где A , b , c – коэффициенты регрессии; τ – время осаждения, мин.

Здесь коэффициенты регрессии определяли методом наименьших квадратов, а для подтверждения однородности дисперсий случайной величины, значимости коэффициентов регрессии и адекватности самого уравнения (2) рассчитывали статистические критерии Кохрена G Стьюдента t и Фишера F с использованием стандартных методик.

Для оценки безаварийной и надежной эксплуатации станций в различных режимах эксплуатации (таблица 1) рассчитывали распределение доверительной вероятности p (%) совокупного влияния объясняющих переменных τ и I на зависимую V в статистически значимых для каждой станции диапазонах разброса значений случайной величины V в параллельных опытах.

Результаты и обсуждение. В общем виде экспериментальная малогабаритная станция биологической очистки бытовых сточных вод включает аэротенк, интенсификатор илоотделения, вторичный отстойник, резервуар очищенной воды, аэраторы и систему транспорта (рисунок 1).

Рисунок 1 – Принципиальная схема малогабаритной станции биологической очистки коммунальных сточных вод

Figure 1 – Schematic diagram of a small-sized biological treatment plant for municipal wastewater

Сточные воды поступают через патрубок в аэробную зону аэротенка. Здесь протекают процессы деструкции органики на нитриты и нитраты, а также в паузах между подачей сточных вод, регенерации активного ила, рециркулирующего из вторичного отстойника. При этом высокая скорость окисления органики достигается интенсивной подачей пузырьков воздуха аэратором и перемешиванием активного ила со сточными водами.

Далее сточные воды попадают в анаэробную зону аэротенка. Здесь основная часть взвешенных частиц задерживается и перемешивается пузырьками воздуха от

придонного аэратора. При этом из-за дефицита кислорода формируется денитрифицирующий биоценоз микроорганизмов, которые в процессе жизнедеятельности расщепляют нитраты до свободного азота.

Для интенсификации илоотделения аэротенк связан с вторичным отстойником канальным илоотделителем (рисунок 2). Здесь сточные воды поочередно проходят делитель потока (а), камеру агломерации хлопьев активного ила (б), биофильтр (в) и стабилизатор потока (г).

В делителе потока за счет пузырьков воздуха образуется спиральный восходящий поток, отделяемый перегородкой от общего потока сточных вод, с которым взвешенные частицы выносятся в циркуляционный канал и в аэробную зону аэротенка. Из прямоточного канала делителя потока сточные воды направляются в камеру агломерации хлопьев активного ила, которая выполнена двойным диаметром на входе. При этом в усеченной части канала происходит их закручивание, сопровождающееся резким снижением скорости потока.

Рисунок 2 – Интенсификатор илоотделения (канальный илоотделитель)

Picture 2 – Silt separation intensifier (channel silt separator)

В камере агломерации на всю длину установлена перегородка на половину диаметра канала. Эта перегородка делит потоки по двум коридорам, что обеспечивает их упорядоченное и спокойное движение. По достижении верхнего уровня перегородки оба потока сточных вод сталкиваются с плотным слоем биофильтра из активного ила. При этом некоторые взвешенные частицы улавливаются биофильтром, обеспечивая увеличение биомассы на носителе и поддержание высокой скорости окисления, тем самым улучшая седиментационные влагоотдающие свойства активного ила. Другие частицы остаются во взвешенном состоянии, за счет градиентной коагуляции притягиваются друг к другу и слипаются, что увеличивает скорость хлопьеобразования и интенсивность выпадения (седиментации) активного ила.

Камера агломерации конструктивно выполнена с условием обеспечения времени пребывания сточных вод от 10 до 20 минут. Таким образом, за счет интенсивного перемешивания и агломерации мелких хлопьев с более крупными частицами гравитационный эффект увеличивается до 20 %.

Далее сточные воды в осветленном состоянии, пройдя стабилизатор потока, в верхней части которого установлен аэратор, попадают во вторичный отстойник. Пу-

зырьки воздуха от аэратора, создавая встречное движение потока, возвращают проскочившие взвешенные частицы обратно на биофильтр.

Накапливаемый осадок во вторичном отстойнике принудительно рециркулирует в аэробную зону аэротенка, а очищенные сточные воды через переливной патрубок поступают в резервуар очищенной воды, откуда погружным насосом вода перекачивается за пределы станции.

На поверхности вторичного отстойника в результате отстаивания образуется биопленка. Для ее удаления на уровне переливного патрубка установлен U-образный эрлифт.

Для оценки седиментационных свойств активного ила были проведены опыты по изучению скорости осаждения для типовой станции «Евробийон» и экспериментальной станции с канальным илоотделителем, результаты которых представлены на рисунке 3.

Рисунок 3 – Кинетические кривые границы раздела фаз:
а – станция «Евробийон»; б – станция с канальным илоотделителем

Figure 3 – Kinetic curves of the phase boundary interface:
а – «Eurobion» station; б – station with a channel silt separator

Полученные кривые Кинша в нормальных условиях эксплуатации станций с расходом сточных вод от 30 до 32 л/час и концентрацией кислорода в аэробной зоне 4,0 мг/л

свидетельствуют о достаточно высоких седиментационных характеристиках активного ила. При этом более интенсивное отстаивание активного ила наблюдали в пробах варианта 2, где начало уплотнения осевшего ила за счет сжатия под тяжестью вышележащих слоев фиксировали с 18 минуты наблюдения, против 24 минуты в типовой станции.

В условиях увеличенной скорости потока (залпового сброса в объеме 1210 л/час) иловый индекс для типовой станции составил 119, что выше аналогичного показателя для экспериментального образца на 32 %. При этом в обоих вариантах начало уплотнения осевшего ила фиксировали на 24 минуту.

В условиях, имитирующих нарушение седиментационных характеристик путем снижения концентрации кислорода с 4,0 до 2,0...0,5 мг/л, наилучшие результаты по отстаиванию достигнуты в варианте 2 с изменением илового индекса от 131 до 182 против 164...220 в типовой станции биологической очистки коммунальных сточных вод.

Для оценки надежности работы рассматриваемых станций проверяли «нулевую гипотезу» о нормальности распределения случайной величины V , для чего были рассчитаны статистические показатели, приведенные в таблице 2. В соответствии с полученными результатами критическое значение аргумента функции Колмогорова больше расчетного $1,31 > 0,57$, то есть случайная величина V распределена по нормальному закону.

Для приведения различных физических условий кинетики границы раздела фаз к единому математическому в таблице 3 рассчитаны коэффициенты регрессионного уравнения. При этом в качестве показателя точности регрессии использовали среднюю относительную ошибку и коэффициент линейной множественной корреляции, показывающий, достаточно ли объясняющие переменные τ и I обуславливают количественную вариацию зависимой переменной V .

Таблица 2 – Результаты проверки «нулевой гипотезы» с помощью критерия согласия Колмогорова

Table 2 – Results of testing the «null hypothesis» using the Kolmogorov consent criterion

Показатель / Indicator	Значение показателя / The value of the indicator	
	вариант 1 / option 1	вариант 2 / option 2
Объем выборки случайной величины / Sample size of a random variable	50	
Среднее арифметическое случайной величины, cm^3 / Arithmetic mean of a random variable, cm^3	53,600	53,220
Стандартное отклонение случайной величины, cm^3 / Standard deviation of a random variable, cm^3	23,823	23,839
Действительный уровень значимости / Actual significance level	0,063	
Число равновеликих интервалов разделения выборки случайной величины / The number of equal intervals for dividing the sample of a random variable	3	
Расчетное значение аргумента функции Колмогорова λ_r / The calculated value of the argument of the Kolmogorov function λ_r	0,564	0,566
Критическое значение аргумента функции Колмогорова λ_k / The critical value of the argument of the Kolmogorov function λ_k	1,310	
Условие принятия «нулевой гипотезы» / Condition acceptance of the "null hypothesis"	$\lambda_r < \lambda_{kr}$	

Доверительную вероятность совокупного влияния объясняющих переменных на зависимую переменную в статистически значимом диапазоне разброса значений случайной величины в параллельных опытах определяли с помощью распределения Фишера, предварительно задавшись величиной процентного разброса значений случайной величины в параллельных опытах δ_k и рассчитав статистические критерии (таблица 4).

Таблица 3 – Значения коэффициентов регрессии и корреляции

Table 3 – Values of regression and correlation coefficients

Показатель / Indicator	Значение показателя / The value of the indicator	
	вариант 1 / option 1	вариант 2 / option 1
Коэффициент регрессии A / Regression coefficient A	21,930	24,875
Коэффициент регрессии b / Regression coefficient b	-0,574	-0,585
Коэффициент регрессии c / Regression coefficient c	0,461	0,453
Средняя относительная ошибка, % / Average relative error, %	21,57	20,05
Коэффициент линейной множественной корреляции / Coefficient of linear multiple correlation	0,831	0,864

Таблица 4 – Результаты проверки статистических гипотез

Table 4 – Results of statistical hypothesis testing

Показатель / Indicator	Значение показателя / The value of the indicator	
	вариант 1 / option 1	вариант 2 / option 1
Разброс значений случайной величины в параллельных опытах δ_k , % / The spread of values of a random variable in parallel experiments δ_k , %	39,55...53,80	35,72...49,00
Число параллельных опытов / Number of parallel experiments	3	
Расчетное значение критерия Кохрена G_r / The calculated value of the Kohren criterion G_r	0,020	
Критическое значение критерия Кохрена G_k / The critical value of the Kohren criterion G_k	0,127	
Условие принятия гипотезы об однородности дисперсий случайной величины / The condition for accepting the hypothesis of homogeneity of variances of a random variable	$G_r < G_k$	
Расчетное значение критерия Стьюдента для коэффициента / The calculated value of the Student's criterion for the coefficient:		
a - $t_{r,a}$	864	1094
b - $t_{r,b}$	161	199
c - $t_{r,c}$	129	154
Критическое значение критерия Стьюдента t_k / The critical value of the Student's criterion t_k	1,859	1,859
Условие принятия гипотезы о значимости коэффициентов регрессии / The condition for accepting the hypothesis about the significance of regression coefficients	$t_r > t_k$	
Расчетное значение критерия Фишера F_r / Calculated value of the Fisher criterion F_r	1,001...1,445	1,001...1,445
Критическое значение критерия Фишера F_k / The critical value of the Fisher criterion F_k	1,446	1,446
Условие принятия гипотезы об адекватности регрессионного уравнения / The condition for accepting the hypothesis about the adequacy of the regression equation	$F_r < F_k$	

Используя расчетные значения F_T и статистику Фишера, посредством табличного процессора MS Excel, мы вычислили доверительную вероятность p совокупного влияния τ и I на V (рисунок 4). При этом минимальное значение доверительной вероятности ограничено действительным уровнем значимости $q = 0,063 = 6,3 \%$.

Рисунок 4 – Зависимость p от процентного разброса значений случайной величины в параллельных опытах δ_k

Picture 3 – The dependence of p on the percentage spread of the values of a random variable in parallel experiments δ_k

Из рисунка 4 следует, что при одинаковом разбросе δ_k доверительная вероятность p для экспериментальной станции на 26,9 % выше, чем для типовой станции «Евробион»: среднее значение для положительных разностей ординат в диапазоне границ I-II и отрицательных разностей ординат в диапазоне границ III-IV (функция распределения меняет знак на противоположный).

Выводы. Полученный математический результат с физической точки зрения правомерно трактовать следующим образом. При одних и тех же условиях безаварийное и надежное поддержание основных технологических параметров работы для малогабаритной станции биологической очистки сточных вод с канальным илоотделителем на 26,9 % выше, чем для станции «Евробион». В этой связи экспериментальная станция обладает значительно большей устойчивостью к изменению технологического режима работы.

Библиографический список

1. Исследование седиментационных свойств иловой смеси городских канализационных очистных сооружений / А. А. Кулаков, Н. А. Макиша, А. Ф. Шарифгуллина, Р. Хардер // Вестник МГСУ. 1997. Т. 13. Вып. 5 (116). С. 643-650.
2. Метод оценки работы вторичных отстойников для принятия оперативного решения по оптимизации эксплуатации / М. В. Кевбрина, А. Г. Дорофеев, А. М. Гаврилин, С. Н. Новиков // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2021. № 1. С. 43-53.
3. Моделирование вероятности улавливания дисперсной фазы в тонкопленочном отстойнике с учетом сил инерции / А. Б. Голованчиков, М. И. Филимонов, П. С. Васильев, М. Е. Кисиль // Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». 2017. № 8 (203). С. 17-23.

4. Новиков А. Е., Дугин Е. А., Филимонов М. И. Адаптация биоценоза активного ила к токсиканту сульфид-иону в модельных сточных водах // Известия Нижневолжского агро-университетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 4. С. 324-332.
5. Application of aeration-oxidative jet-looped setup for biological wastewater treatment / O. M. Obodovych, L. A. Sablii, V. V. Sydorenko, M. S. Korenchuk // *Biotechnologia Acta*. 2018. Vol. 11 (2). P. 57-63.
6. Enhancing robustness of activated sludge with *Aspergillus tubingensis* as a protective backbone structure under high-salinity stress / Y. Chen, T. Hu, W. Xiong, A. Fan, S. Wang, H. Su // *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 297.
7. 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*. Volgograd State Agricultural University, 2020. P. 7.
8. Modeling of enzymatic waste water treatment / A. Novikov, M. Lamskova, E. Dugin, M. Filimonov, S. Grigorov, A. Poddubskiy, G. Chamurliiev // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1553.
9. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review / L. H. Lee, T. Y. Wu, K. P. Y. Shak, S. L. Lim, K. Y. Ng, M. N. Nguyen, W. H. Teoh // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2018. Vol. 93 (4). P. 925-935.
10. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality / W. Melo, D. Delarica, A. Guedes, L. Lavezzo, R. Donha, A. de Araújo, G. de Melo, F. Macedo // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 643. P. 1493-1501.
11. The combined effects of biomass and temperature on maximum specific ammonia oxidation rate in domestic wastewater treatment / Y. Zhang, S. Wang, S. Gu, L. Zhang, Y. Dong, L. Jiang, W. Fan, Y. Peng // *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2021. Vol. 15 (6).
12. Vasilyev S., Domashenko Y. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land // *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19 (1). P. 48-54.

Conclusion. If the technological regulations for biological treatment of domestic wastewater are observed and environmentally friendly separation products are obtained, they can be used in agriculture for fertilizing and irrigating forage, industrial and other crops. Modernization of a small-sized biological wastewater treatment plant with a canal sludge separator provides intensive mixing and agglomeration of small sludge flakes with larger particles, an increase in the gravitational effect by 20%. Under equal operating conditions, trouble-free and reliable maintenance of the main technological parameters of operation for a station with a duct desludger is 26.9% higher than for a typical station "Eurobion".

Reference

1. Investigation of the sedimentation properties of the sludge mixture of urban sewage treatment plants / A. A. Kulakov, N. A. Makisha, A. F. Sharifgullina, R. Harder // *MGSU Bulletin*. Vol. 13. No. 5 (116). P. 643-650.
2. Method for assessing the operation of secondary clarifiers for making an operational decision to optimize operation / M. V. Kevbrin, A. G. Dorofeev, A. M. Gavrilin, S. N. Novikov // *Best Available Technologies for Water Supply and Sanitation*. 2021. No. 1. P. 43-53.
3. Simulation possibility capture of the dispersed phase in thin-film sump with taking into account the forces of inertia / A. B. Golovanchikov, M. I. Filimonov, P. S. Vasiliev, M. E. Kisil // *Izvestia VSTU. Series "Actual problems of management, computing hardware and informatics in engineering systems"*. 2017. № 8 (203). P. 17-23.
4. Novikov A. E., Dugin E. A., Filimonov M. I. Adaptation of activated sludge biocenosis to toxicant sulfide ion in model wastewater // *Bulletin of the Nizhnevolzhsky agro-university complex: Science and higher professional education*. 2018. No 4. P. 324-332.

5. Application of aeration-oxidative jet-looped setup for biological wastewater treatment / O. M. Obodovych, L. A. Sablii, V. V. Sydorenko, M. S. Korenchuk // *Biotechnologia Acta*. 2018. Vol. 11 (2). P. 57-63.
6. Enhancing robustness of activated sludge with *Aspergillus tubingensis* as a protective backbone structure under high-salinity stress / Y. Chen, T. Hu, W. Xiong, A. Fan, S. Wang, H. Su // *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 297.
7. 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*. Volgograd State Agricultural University, 2020. P. 7.
8. Modeling of enzymatic waste water treatment / A. Novikov, M. Lamskova, E. Dugin, M. Filimonov, S. Grigorov, A. Poddubskiy, G. Chamurliiev // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1553.
9. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review / L. H. Lee, T. Y. Wu, K. P. Y. Shak, S. L. Lim, K. Y. Ng, M. N. Nguyen, W. H. Teoh // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2018. Vol. 93 (4). P. 925-935.
10. Ten years of application of sewage sludge on tropical soil. A balance sheet on agricultural crops and environmental quality / W. Melo, D. Delarica, A. Guedes, L. Lavezzo, R. Donha, A. de Araújo, G. de Melo, F. Macedo // *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 643. P. 1493-1501.
11. The combined effects of biomass and temperature on maximum specific ammonia oxidation rate in domestic wastewater treatment / Y. Zhang, S. Wang, S. Gu, L. Zhang, Y. Dong, L. Jiang, W. Fan, Y. Peng // *Frontiers of Environmental Science and Engineering*. 2021. Vol. 15 (6).
12. Vasilyev S., Domashenko Y. Agroecological substantiation for the use of treated wastewater for irrigation of agricultural land // *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19 (1). P. 48-54.

Authors Information

Novikov Andrey Evgenievich, 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

Vasilyev Pyotr Sergeevich, associate professor of the department "Processes and Apparatus of Chemical and Food Production" Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Volgograd State Technical University" (28, Lenina Avenue, Volgograd, 400002, Russia)
E-mail: nestorvv@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0262-686X

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: 0000-0002-2019-3028

Filimonov Maksim Igorevich, research associate, 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

Информация об авторах

Новиков Андрей Евгеньевич, директор 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

Васильев Петр Сергеевич, доцент кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (РФ, 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28), E-mail: nestorvv@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0262-686X

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: 0000-0002-2019-3028

Филимонов Максим Игоревич, 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