ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

EDN ZTVFUZ
DOI 10.5281/zenodo.10974670
УДК 628.33:628.34

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА ОБОГАЩЕНИЯ КИСЛОРОДОМ НЕДОСТАТОЧНО ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

© 2024 ***Хуррамова Н.М., Хуррамов М.Г., Джураева Н.Б.***

В статье предложен надежный и безопасный в экологическом отношении, экономически целесообразный первичный способ обогащения кислородом не прошедших достаточной очистки сточных вод. Способ состоит из приемного резервуара, который построен водорослевым известняком в Гиссарскую горную породу. Известняк в резервуаре способствует улучшению кислородного режима за счёт «консервации» органического вещества, в бескислородных донных слоях и ускорению процесса фотосинтеза одноклеточных водорослей. В результате содержание растворенного кислорода в стоке увеличивается по выходу из резервуара до 1,3-1,4 мгO_2/дм^3.

Ключевые слова: способ, недостаточно очищенные стоки, приемный резервуар, водорослевой известняк, обогащение кислородом.

Введение. В настоящее время почти на все водные объекты оказываются под антропогенным влиянием, особенно на водоемы, находящиеся близи промышленных зон. Больше всего страдают мелководные объекты, не имеющие высокой разбавляющей и самоочищающей способности. Это особенно вредно сказывается при «залповых выбросах», не прошедших достаточной очистки сточных вод. Поэтому важно вовремя проводить мероприятия, позволяющие в полной мере оценивать показатели воды, которые непосредственным образом оказывают влияние на жизнь водоёма и его обитателей. Одним из таких показателей является кислород. Большинство живых существ испытывают необходимость в кислороде и его соединениях, обитатели водоёмов не исключения - концентрация кислорода в воде является важным показателям благополучия. Постоянное присутствие растворенного кислорода в поверхностных водах характеризует кислородный режим водоёмов и имеет первостепенное значение для оценки санитарного и экологического состояния. В свою очередь, истощение растворенного кислорода в системах может способствовать микробиологическому восстановлению нитрата в нитрит и сульфата в сульфид, что вызывает появление запаха [1-6].

Обогащение сточных вод кислородом – один из важнейших этапов подготовки стоков к сбросу в очистки или водоёмы. Одним из перспективных решений является использование энергио- и ресурсосбрегающих способов обогащения, не прошедших достаточной очистки сточных вод кислородом [3, 7-11].

Постановка задачи. Целью данной работы является разработка энерго- и ресурсосберегающего способа первичного обогащения не прошедших достаточной очистки сточных вод кислородом.

Экспериментальные методы. Для решения поставленных задач использовались химические анализы проб стоков, отобранных в полевых условиях, которые проводились в лаборатории кафедры «Химия» Каршинского государственного университета.

При определении содержания растворенного кислорода в стоке использовалось йодометрическое титрование – метод Винклера, широко используемый и общепринятый при санитарно-химическом и экологическом контроле. Полевые опыты проводились согласно стандартным методикам, установленным правилам контроля качества воды водоемов физическим и химическим показателям. Измерения проведены в соответствии с нормативно-технической документацией [1, 2, 12-16].

Результаты и их обсуждение. Объектом исследования послужила сточная вода из промышленной зоны г. Шахрисабза. Схема очистки сточных вод зоны включает последовательную механическую очистку. Объем сброса сточных вод, согласно, графика выпуска сточных вод составляет 2000 м^3/сутки. Категория: производственные сточные воды. Исходные сточные воды, представляют собой смесь стоков от мелких промышленных предприятий: текстильной, молочной, пищевой, металлообрабатывающих, аккумуляторных и гальванических цехов. Все сточные воды, образующиеся на территории промышленной зоны после механической очистки, транспортируются по закрытому трубопроводу к месту спуска в мелководное р. «Кара-сув» на расстояние 2,5 км. Конструкция выпуска сточных вод промплощадки предприятий в водоем затопленная.

С целью получения наиболее показательных результатов измерения концентраций растворенного кислорода в сточной воде было выбрано 10 мест опробования, на различных расстояниях от выпуска. После того как проведен предварительный анализ лабораторных результатов при сбросе в мелководную р. «Кара-сув», некоторые показатели качества воды, приведенные в таблице 1.

Таблица 1. Показатели качества общезаводских очистных сооружений сбрасываемой воды в р. «Кара-сув»

Определяемые показатели	Единица измерения	Количества	ПДК
Водородный показатель	единиц pH	7,5-9,5	6,5-7,5
Взвешенные вещества	мг/дм^3	225 ± 10	15
Растворенный кислород	мгO_2/дм^3	0,1 ± 0,05	4,0
БПК$_5$	мгO_2/дм^3	460 ± 5	2,0
ХПК	мгO_2/дм^3	600±35	30

Анализ данных таблицы 1 показывает, что средняя концентрация растворенного кислорода в сбросе в мелководный р. «Кара-сув» составляет 0,1±0,05мгO_2/дм^3. Основные показатели качества воды, приведенные в таблице, не соответствуют нормативным значениям ПДК. Общезаводские очистные сооружения предприятий работают неэффективно. Из вышеизложенного можно сделать вывод о достаточно сильном их влиянии на степень загрязнения воды в реке. Особенно заметно увеличение значений таких показателей, как ХПК на 25% и БПК$_5$ на 56%. В настоящее время самоочищающей способности мелководного р. «Кара-сув» уже не хватает, и она не в силах переработать все поступающие загрязнения.

Для изучения картины приемного резервуара и конструктивных параметров его была разработана полевая экспериментальная установка. Эксперименты проводились прямо в назначенных местах сброса. Общий вид экспериментальной установки представлен на рисунке 1.

Рис.1. Общий вид экспериментальной установки:
1-труба для подачи паток недоочищенных стоков; 2-отверстия; 3-струи стоков;
4-приемная яма для стока

Недоочищенный сток самотеком со скоростью до 1,0 м/с, через трубы (d=50мм) поступает в приемную яму, которые установлены на 0,8 м выше уровня воды в стойках. Глубина приемного резервуара 0,5 м, уклон 0,005, имеющий прямоугольную форму. Для слива очищаемых вод и принудительной аэрации в днище разводящих труб имеются отверстия диаметром 8-15 мм, расстояние между которыми 0,25 м. Для более равномерного перемешивания очищаемых вод отверстия в сети расположены в шахматном порядке, таким образом, чтобы перемешивающие площади, соседними отверстиями, частично перекрывались. За счет свободного падения из отверстия очищаемых сточных вод с высотой 0,8 м осуществляется начального распада струи, при котором струя распадается на отдельные. За счет раздробления струи на отдельные увеличится площадь поперечного сечения струи, в результате мельчайшие капли сточный воды, контактируя с кислородом воздуха, насыщаются им в процессе диффузии. Этот метод весьма прост и эффективен, не требует энергозатрат и больших площадей.

На основе полученных результатов экспериментальной установки, была выбрана конструкция приемного резервуара открытого типа для слива стоков (рис. 2). Исходя этого проведен расчет размера габаритов приемного резервуара [7, 9, 17-20].

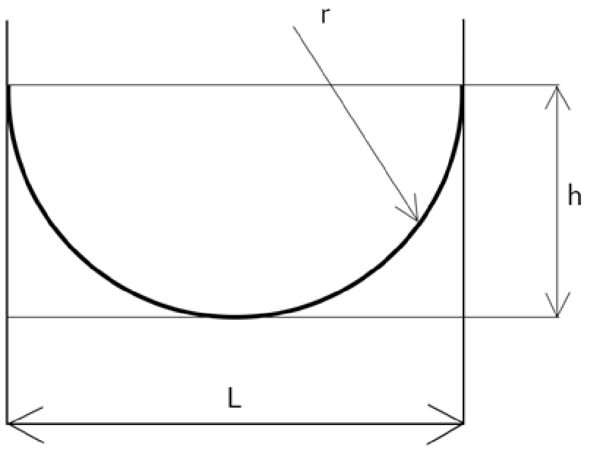

Рис. 2. Расчетная схема приемного резервуара

При практических расчетах габарита приемной ямы использовались следующие параметры: ширина по дну L; глубина наполнения h; радиус окружности r.

Гидравлическая характеристика приемного резервуара определяется его наибольшей пропускной способностью при заданном уклоне и площади сечения. Гидравлический радиус приемного резервуара определяется уравнением:

$$R = \omega / \chi ,$$

где ω – площадь живого сечения потока сточных вод в приемном резервуаре (по СНиП 31.02.2001, $\omega=1,7r^2$); χ - смоченный периметр приемного резервуара определяется уравнением:

$$\chi = 2\pi r ,$$

где r – радиус сечения сточных вод.

В основе гидравлического расчета принято: постоянство расхода сточных определяется уравнением:

$$q = w \cdot v ,$$

где ω – площадь живой сечения потока сточных вод приемной резервуара; v – скорость течения сточных вод приемной резервуара м/сек;

Средняя скорость течения сточных вод приемной резервуара в м/сек определяются уравнением Шези:

$$v = C\sqrt{R} ,$$

где R – гидравлический радиус приемного резервуара, в м; C – коэффициент сопротивления трения по длине; I – гидравлический уклон потока сточных вод, опредлеляемый уравнением:

$$I = \frac{v^2}{C^2 R} .$$

Коэффициент сопротивления трения по длине приемного резервуара определяются уравнением Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y ,$$

где n – коэффициент шероховатости, принимаемый для материала приемного резервуара (для водорослевого известняка равно 0,0015 ÷ 0,017); y – показатель степени, зависящий от величины коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса приемного резервуара, определяются уравнением:

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1) .$$

В канализационных коллекторах диметром до 4000 мм, гидравлический радиус всегда меньше 1 м, а при $R < 1$ и $n = 0,013$ показатель степени определяются уравнением:

$$y \approx 1,5\sqrt{n} = \frac{1}{6} .$$

По данным СНиП 31.02.2001 величину без размерного коэффициента сопротивления λ для безнапорного течения рекомендуются определять по формулам Н.Ф. Федорова:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -21g\left(\frac{\Delta_э}{13{,}68R} + \frac{a_2}{Re}\right),$$

где $\Delta_э$ – эквивалентная абсолютная шероховатость в см, (для водорослевого известняка равно 0,64 см); a_2 – безразмерный коэффициент, учитывающий характер шероховатости материала приемный резервуара (для водорослевого известняка равно 50); R – гидравлический радиус приемный резервуара, в см; Re – число Рейнольдса;

На основе выполненных расчетов определены параметры приемного резервуара. Таким образом, конструкция представляет собой резервуар открытого типа размерами $A \times B \times H$ = 8000х4000х1300 мм, режим самотечный.

Оптимальная продолжительность пребывания насыщаемых кислородом сточных вод в резервуаре 40-45 мин. При этом скорость течение патока установлена 1,2–1,3 м/с, для предохранения его от заливания. Во избежание размыва для загрузки на дно в качестве слоя использовали 500-700 мм куски водорослевого известняка Гиссарской горной породы, сравнительно низкой стоимостью и доступностью. На основании лабораторного анализа определен, химический состав водорослевого известняка Гиссарской горной породы в %:

SiO_2-5,2; TiO_2-0,05; Al_2O_3-0,8; Fe_2O_3+FeO-0,55; MnO-0,05; CaO-43,0; MgO-8,0; K_2O-0,3; Na_2O-0,05; H_2O-0,75; P_2O_5 -0,04; CO_2-41,5; SO_3-0,04; S-0,08.

Химический состав в качестве ионообменного материала удовлетворяет требованиям к процессам очистки стоков своими свойствами. Загрузка известняка в приемный резервуар способствует улучшению кислородного режима за счёт «консервации» органического вещества в бескислородных донных слоях и ускоряет процесс фотосинтеза одноклеточных водорослей. Водоросли поглощают питательные вещества всей своей поверхностью.

Карбонат кальция является реагентом, обеспечивающим не только автоматическую стабилизацию pH воды на уровне <8,5, но и обладает высокой степенью удаления тяжелых металлов из воды (на примере Cu_2^+, Pb_2^+ и Cd_2^+) (рис. 3).

а) б)

Рис. 3. Общий вид приемного резервуара: а) нижний слой из известняка Гиссарской горной породы; б) процесс насыщения кислородом стоков в приемном резервуаре

Как видно из рисунка 3б, происходит как обогащение массы стоков кислородом, так и дробление пузырьков при сдвигании слоёв стока, что в целом заметно ускоряет и облегчает весь процесс. Визуальная оценка показывает, что в приемном резервуаре создается постоянное движение стока обогащения кислородом (активная зона в резервуаре до 100%), что обеспечивает равномерное распределение кислорода по всей толще стока. Что в свою очередь позволяет улучшить насыщение обрабатываемых сточных вод кислородом. Создание оптимальных гидродинамических условий полного самотечного смешения потока сточной воды является важнейшим условием успешного процесса обогащения кислородом. При этом, основное назначение быстрой турбулизации потока – как можно более полное и быстрое распределение растворенного кислорода в массе стока. При высоких скоростях течения стоков в начальном участке резервуара происходит нарушение сплошности свободной поверхности потока стока, она становится рыхлой и воздух захватывается в стоке. При проникновении пузырьков воздуха в стоке образуется зона течения водовоздушной смеси.

В этом участке приемного резервуара средняя скорость потока V должна быть равна критической скорости $V_{кр}$, определяемой по формуле:

$$V = \sqrt{0{,}38 R \cos a_н} \cdot \lambda_R ,$$

где R - гидравлический радиус; $a_н$ - угол наклона сливной грани водосброса; λ_R -коэффициент гидравлического трения его поверхности.

Анализ полученных данных показал, что концентрация растворенного кислорода в поверхностном слое постепенно увеличивалась и местами до хвостовой части резервуара достигала 1,3-1,4 мгO_2/дм^3, в пробе, отобранной до 12 часов дня (рис. 4).

Рис. 4. Сброс стока насыщенным кислородом из резервуара

Выводы. Главными достоинствами такого способа являются дешевизна процесса, отсутствие потребности в электроэнергии, простота строительства и отсутствие необходимости в содержании эксплуатационного персонала. В результате содержание растворенного кислорода можно увеличить по выходу из приёмного резервуара до 1,3-1,4 мгO_2/дм^3. Предварительное перемешивание потоков в сбросе оказывает положительное влияние на экологию и санитарное состояние водоёмов. Полученные результаты могут использоваться для создания доступных технологий в этой области.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Трифонова, Т. А. Антропогенная нагрузка на речной бассейн / Т. А. Трифонова, А. С. Сенатов // ЭКВАТЕК-2002. Вода: экология и технология: сборник материалов конгресса (Москва, 04–07 июня 2002 года). – Москва: Ренел-Принт, 2002. – С. 14-15.
2. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2 .1.5.1315-03. – М: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 154 с.
3. Кислородный режим рек как показатель продукционно-деструкционных процессов в реках / А. В. Гончаров, М. Б. Заславская, В. А. Исаев [и др.] // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: материалы V Всерос. симпоз. (Петрозаводск, 10–14 сентября 2012 года). – Петрозаводск: Изд-во Карельский научный центр РАН, 2012. – С. 216-218.
4. Николаев, А. Н. Очистка сточных вод до требований экологических нормативов на сбросе в водоемы / А. Н. Николаев, Е. М. Крючихин // Экология и промышленность России. – 2003. – № 7. – С. 17-20.
5. Сенатов, А. С. Самоочищающая способность речного бассейна / А. С. Сенатов // Экология речных бассейнов: Труды второй Международной науч.-практич. конф. – Владимир: ВГУ, 2002. – С. 243.
6. Оценка параметров самоочищения малых рек центра Красноярского края / О. В. Тасейко, Т. П. Спицына, Р. Р. Тагиров [и др.] // Моделирование неравновесных систем - 2013 : материалы XVI Всероссийского семинара (Красноярск, 04–06 октября 2013 года). – Красноярск: ИВМ СО РАН, 2013. – С. 166-170.
7. Воронов, Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев. – М.: Издательство ассоциации вузов, 2006. – 704 с.
8. Ивченко, Л. В. Экспериментальные исследования насыщения сточных вод кислородом в каналах / Л. В. Ивченко // Молодые ученые-аграрной науке и производству: Сборник научных работ молодых ученых-аграриев Центрального федерального округа (Брянск, 25–26 ноября 2003 года). – Вып. 1. – Брянск: Брянская государственная сельскохозяйственная академия, 2003. – С.126-127.
9. Карпухина, Л. А. Проекты решения по строительству сооружений обеззараживания сточных вод / Л. А. Карпухина // ЭКиП: Экология и промышленность России. – 2013. – № 6. – С. 42–46.
10. Кунахович, В. А. Сооружения для очистки поверхностного стока: правильный выбор / В. А. Кунахович // Экология производства. – 2012. –№ 4. – С. 50–53.
11. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М.: АКВАРОС, 2003. – 512 с.
12. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору: межгосударственный стандарт: дата введения 2014-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2013. – 35 с.
13. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод / Ю. М. Ласков, В. И. Калицун, Ю. В. Воронов [и др.]. – М.: Стройиздат, 2000. – 188 с.
14. Методика по определению расчетных расходов воды и стоков в системе водоснабжения и канализации зданий и сооружений: методическое пособие / А. Я. Шарипов, А. С. Богаченкова, Н. А. Александрович [и др.]. – М.: ООО «СанТехПроект», 2017. – 117 с.
15. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод: рекомендации. Р 52.24.353-2012. – Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2012. – 39 с.
16. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворённого кислорода в пробах природных и сточных вод йодометрическим методом. ПНД Ф 14.1:2:3.101-97. – М.: АСВ, 2017. – 27 с.
17. Алексеев, М. И. Гидравлический расчет сетей водоотведения: справ. пособие / М. И. Алексеев, Ф. В. Кармазинов, А. М. Курганов. – СПб.: НТО спец. гор. хоз-ва СПб., 1997. – 128 с.
18. Лукиных, А. А. Таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей и дюкеров по формуле акад. Н. Н. Павловского: справ. пособие/ А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных. – М.: ООО «ИД «БАСТЕТ», 2011. – 380 с.
19. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования: Свод правил. СП 40-102-2000. – М.: Госстрой России, 2001. – 38 с.
20. Помогаева, В. В. Повышение эффективности струйной аэрации естественных водоёмов и биологических прудов: дис. … канд. техн. наук: 05.23.04 / Помогаева Валентина Васильевна; ВГАСУ. – Москва, 2009. – 176 с.

Поступила в редакцию 30.01.2024 г., рекомендована к печати 21.02.2024 г.

INVESTIGATION OF AN ENERGY-RESOURCE-SAVING METHOD FOR OXYGEN ENRICHMENT OF INSUFFICIENTLY TREATED WASTEWATER

KHurramova N.M., KHurramov M.G., Dzhuraeva N.B.

The article proposes a reliable and environmentally safe, economically feasible primary method for enriching wastewater that has not undergone sufficient treatment with oxygen. The method consists of a receiving tank, which is built with algal limestone in the Gissar rock. Limestone in the tank helps improve the oxygen regime due to the «conservation» of organic matter in oxygen-free bottom layers and accelerates the process of photosynthesis of unicellular algae. As a result, the content of dissolved oxygen in the drain increases at the exit from the reservoir to 1,3-1,4 mgO_2/dm^3.

Keywords: method, insufficiently treated, wastewater, receiving tank, algal limestone, oxygen enrichment.

Хуррамова Наргиза Мухторовна
ассистент кафедры технологического образования Каршинского государственного университета,
Узбекистан, г. Карши.
E-mail: nargiza-xurramova@mail.ru

KHurramova Nargiza Mukhtorovna
Assistant at Department of Technological education of Karshi State University,
Uzbekistan, Karshi.

Хуррамов Мухтор Гулович
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологического образования Каршинского государственного университета,
Узбекистан, г. Карши.
E-mail: khurramov58@mail.ru

KHurramov Mukhtor Gulovich
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Technological education of Karshi State University,
Uzbekistan, Karshi.

Джураева Нигина Баходировна
студент Шахрисабзского государственного педагогического института,
Узбекистан, г. Шахрисабз.
E-mail: doniyordjuraev290@gmail.com

Dzhuraeva Nigina Bakhodirovna
Student of Shakhrisabz State Pedagogical Institute,
Uzbekistan, Shakhrisabz.