

УДК 628.3

© 2017 г. Пындак В.И., Новиков А.Е., Штепа В.Н.**ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ОРГАНОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД И ОБРАБОТКИ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ***Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград*

Разработан ферментно-кавитационный метод биологической очистки органосодержащих сточных вод и обработки илового осадка, согласно которому подача воздуха осуществляется без компрессоров – посредством эжекторов. Предусматривается также кавитация низкой интенсивности. Биоочистка сточных вод реализуется при температуре 10–42 °С. Энергоемкость процесса снижается в 6 раз, время обработки осадка 8–10 часов при давлении 0,30–0,35 МПа. Обработанный осадок обладает адсорбционными свойствами.

Технические средства для очистки различных видов сточных вод и обработки образующихся при этом осадков присутствуют в каждом городе и на отдельных объектах. Имеется тенденция создания малогабаритных автономных установок для переработки стоков на месте их образования. Однако потребности в средствах для переработки отходов жизнедеятельности людей и животных не удовлетворяются.

Действующие станции очистки основаны преимущественно на аэробных или анаэробных принципах биологического воздействия на органическую компоненту поступающих стоков, занимают огромные площади, характеризуются высокой энергоемкостью и экологически небезупречны. Основным потребителем электроэнергии является компрессорное хозяйство (воздуходувки) – поставщики сжатого воздуха или перегретого пара [1–3].

Разработан аэробный ферментно-кавитационный метод биологической очистки органосодержащих сточных вод и обработки илового осадка [4–7]. Метод апробирован при создании установок с пропускной способностью до 10 тыс. м³ в сутки. В установках отсутствуют компрессоры; подача сжатого воздуха осуществляется “бесплатно” – посредством эжекторов. Серийные насосы на всасывающей линии имеют приставки, которые генерируют кавитацию весьма низкой интенсивности – с числом кавитации $\kappa_8 = 0,02–0,05$ (в обычных насосах $\kappa_8 = 4–6$).

Очистка сточных вод и обработка осадков сопровождается подачей в биореакторы и откачкой субстрата, насыщенного микрокавернами кавитации; сюда же поступает и сжатый воздух, кислород которого является рабочим телом. Одновременно с процессом аэробной деструкции органических веществ происходят процессы удаления соединений азота, который в сточных водах находится в виде ионов аммония NH_4^+ . Окончательно процесс нитрификации выражается уравнением $\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$, т.е. реакции происходят под действием кислорода, которого в 8–10 раз больше по сравнению с серийными технологиями (за счет работы эжекторов без энергозатрат). Под действием NO_3^- продолжается деструкция органики, которая условно выражается символом CH_3OH .

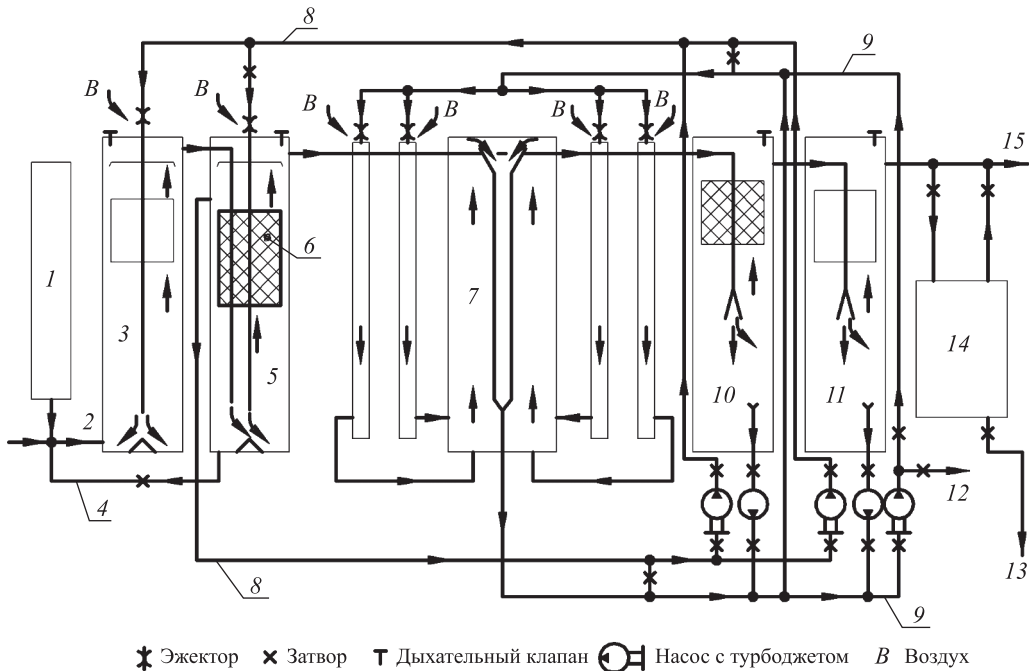


Рис. 1. Схема очистки сточных вод и обработки осадка: 1 – механическая очистка; 2 – вход; 3 – усреднитель; 4 – аварийный сброс; 5 – биореактор; 6 – активный ил; 7 – аэробный стабилизатор; 8 – водовоздушная смесь; 9 – избыточный (возвратный) ил; 10 – седиментатор 1; 11 – седиментатор 2; 12 – выгрузка осадка; 13 – резервуар; 14 – доочистка, фильтрация, обеззараживание; 15 – выход воды

Особенностью конструктивного исполнения разрабатываемых установок является вертикальное (башенное) исполнение биореакторов, их высота достигает 10–12 м. Благодаря этому площадь под установкой снижается в 4–5 раз, а сами реакторы могут поставяться в виде блоков высокой заводской готовности. Принципиальная схема очистки сточных вод и обработки осадка (рис. 1) показывает, что ее основными составляющими являются изделия традиционного машиностроения: трубчатые корпуса, насосы, эжекторы, фильтры, центрифуги, система трубопроводов и т.п.

Микрокавитационная (микропузырьковая) среда, как известно [2] благоприятна для развития и жизнедеятельности микроорганизмов, в том числе ферментов, которые расщепляют молекулы органических веществ – осуществляют переработку (до наноуровня!) илового осадка. Активность и “производительность” ферментов зависит от температуры среды и ее водородного показателя pH.

Известно также [2, 3], что для биологической очистки сточных вод оптимальным является мезофильный процесс, который протекает в диапазоне температур 10–42°. На основании закона распределения скоростей молекул Дж. Максвелла для жидкой среды, можно выразить вероятность достижения максимума скорости $v_0 = \sqrt{2(kT)} / m$, где k – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; m – масса молекулы.

Отсюда следует, что при постоянных значениях k и m скорость молекул (и субстрата) является функцией температуры. Исследования показывают, что в названном температурном диапазоне скорость v_0 молекул возрастает на 5,5%, а кинетическая энергия молекул – на 11,1%. Это означает, что начиная с температуры $T = 10^\circ$, происходит саморазогрев обрабатываемого субстрата. Созданию комфортной для себя температуры “способствуют” и сами ферменты.

Согласно [8] при температуре $T \leq 0^\circ$ и $\geq 80^\circ\text{C}$ ферменты не проявляют признаков жизнедеятельности, а их максимальная активность фиксируется при $T \approx 40^\circ\text{C}$ (рис. 2, а), т.е.

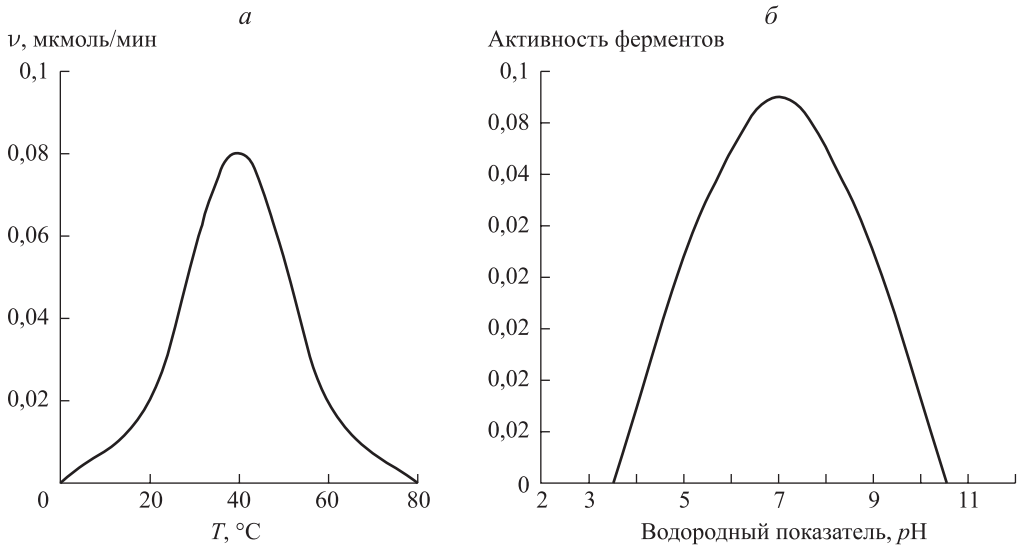


Рис. 2. Активность ферментов: *a* – в зависимости от температуры; *б* – в зависимости от pH среды

находится в диапазоне температур мезофильного процесса. Измерения показали, что при реализации ферментно-кавитационного метода (по крайней мере, в умеренных широтах) температура в биореакторах “автоматически” поддерживается в диапазоне 35–45 $^{\circ}\text{C}$ (после выхода системы на заданный режим).

Ферменты весьма чувствительны к кислотности среды (рис. 2, б); максимум активности ферментов фиксируется при pH = 7 [8] – это нейтральная среда. В переработанном и высушенном до влажности 35% осадке показатель pH = 6,7, т.е. находится вблизи оптимума.

Основную функцию энергосбережения в установках берут на себя эжекторы (оксиджеты) – простые струйные аппараты, не имеющие подвижных частей, их конструктивные особенности (в составе установок) показаны на рис. 3. Импульс потока в любом сечении струйного аппарата записывается выражением $j = Gv + pA$, где G – массовый расход, кг/с; v – скорость потока, м/с; p – давление среды, Па; A – площадь сечения потока, m^2 .

Для определения возможностей эжекторов воспользуемся следствием из уравнения неразрывности потока несжимаемой жидкости – соотношением скоростей (v_1, v_2) и площадей живого сечения потока (A_1, A_2): $v_1/v_2 = A_2/A_1$.

По расчетам, за счет сужения в вертикальном (гидравлическом) трубопроводе скорость потока (соотношение v_1/v_2) в аппарате (рис. 3) возрастает почти в 5 раз; кинетическая энергия, как известно, пропорциональна квадрату скоростей и возрастает почти в 25 раз. Воздух из атмосферы поступает посредством “изогнутого” патрубка, увлекается гидравлическим потоком и вместе с субстратом нагнетается в биореактор. В этом варианте энергоемкость установки снижается более чем в 6 раз; серийные методы очистки стоков [9, например] не решают проблемы энергоэффективности.

Но уже разработаны устройства для волнового диспергирования газа в жидкости – без использования компрессора [10–12 и др.], которые, в перспективе можно применить в системах биологической очистки сточных вод. Дробление потока газа на пузыри проводится за счет импульсов давления, создаваемых волнами жидкости, распространяющимися от гидродинамического генератора колебаний. Средний диаметр газовых пузырьков на оптимальных режимах волнового диспергатора составляет от 0,3 до 0,8 мм в зависимости от требуемого расхода газа, что соизмеримо с нашими наблюдениями при использовании струйного эжектора.

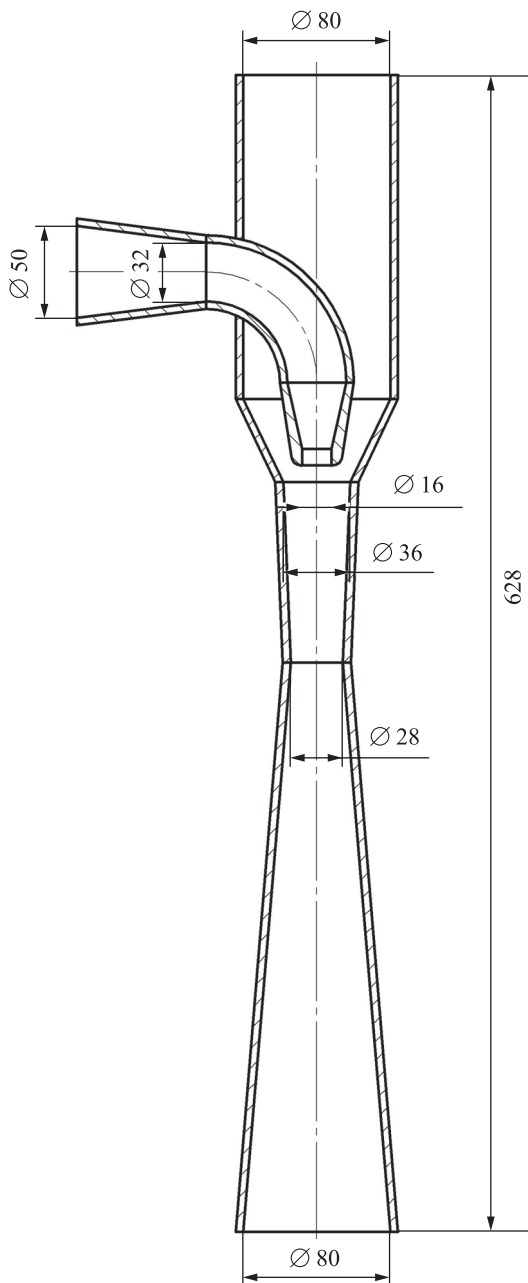


Рис. 3. Эжектор (оксиджет) установок для переработки отходов

квационный метод позволяет решать не только проблемы ликвидации органосодержащих отходов, но и получения эффективных удобрений-мелиорантов – при экономии энергоресурсов. Применение метода предпочтительно на отдельных объектах – при ограниченном объеме отходов.

Качество и продолжительность обработки (переработки) осадка по ферментно-квационному методу существенно зависит от давления субстрата на входе в эжекторы. На действующей установке варьировали давлением p потока на входе в диапазоне 0,20–0,35 МПа (рис. 4). Критерием качества обработки осадка было уменьшение показателя “химического потребления кислорода” (ХПК) до такой величины, которая становится постоянной. Это указывает на завершение процесса.

Исходное значение ХПК $\approx 100\%$ свидетельствует: органика в субстрате находится в прочной связи с другими компонентами – осадок не переработан, ферменты не работают. Процесс переработки осадка завершается, когда показатель ХПК (и количество органики) стабилизируется и составляет $\approx 16\%$ (после сушки до влажности 35–45%). Это достигается при $p = 0,30–0,35$ МПа после 8 часов обработки. Процесс реализуется и при $p = 0,25$ МПа, но время обработки возрастает до 11 часов; поэтому $p < 0,25$ МПа неприемлемо (рис. 4).

После переработки осадка органическое вещество становится наноструктурированным и легкодоступным корням растений и почвенной биоте (в случае его внесения в почву в качестве удобрения). Переработанный осадок обладает огромными адсорбционными свойствами и способен аккумулировать из атмосферы влагу и воздух. В таком осадке присутствуют общие формы (также доступные) азота (2,5%), фосфора (4,2%) и калия (1,2%), а также подвижная сера (до 2-х г/кг) – важнейший и дефицитный источник питания растений [4].

Иностранные специалисты указывают [12] на негативные глобальные последствия землепользования, в число которых входит повсеместное накопление отходов производства. Ферментно-квационный метод позволяет решать не только проблемы ликвидации органосодержащих отходов, но и получения эффективных удобрений-мелиорантов – при экономии энергоресурсов. Применение метода предпочтительно на отдельных объектах – при ограниченном объеме отходов.

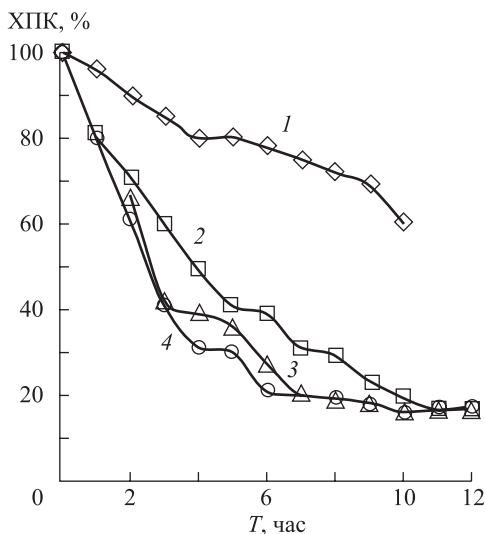


Рис. 4. Изменение ХПК в зависимости от давления и времени обработки: 1 – 0,20 МПа; 2 – 0,25; 3 – 0,30, 4 – 0,35 МПа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.
2. Яковлев С.В., Карюхина Т.А. Биологические процессы в очистке сточных вод. М.: Стройиздат, 1981. 200 с.
3. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. М.: Изд-во АСВ, 2004. 701 с.
4. Пындак В.И., Новиков А.Е., Степкина Ю.А. Решение проблем отходов и плодородия деградированных земель (на примере Нижнего Поволжья) // Научное обозрение. 2013. № 4. С. 85–89.
5. Пындак В.И., Степкина Ю.А. Проблемы и перспективы биоинженерного машиностроения (на примере развития методов переработки стоков) // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2013. № 4. С. 44–47.
6. Пындак В.И., Степкина Ю.А., Степкин А.А. Обоснование ферментно-кавитационного метода переработки хозяйственно-бытовых стоков с получением удобрений-мелиорантов // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2013. № 3.С. 183–189.
7. Пындак В.И., Чернова Ю.А., Новиков А.Е., Дугин Е.А. Модернизация и снижение энергоемкости станций очистки сточных вод // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 6. С. 27–29.
8. Филиппович Ю.Б., Ковалевская Н.И. и др. Биологическая химия. Учебное пособие / Под ред. Н.И. Ковалевской. М.: Академия, 2009. 256 с.
9. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: Изд-во “Акварос”, 2003. 504 с.
10. Ганиев Р.Ф., Жебынев Д.А., Корнеев А.С. Волновое диспергирование газа в жидкости без использования компрессора // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. № 5. С. 82–84.
11. Ганиев Р.Ф., Жебынев Д.А., Корнеев А.С., Украинский Л.Е. Экспериментальное исследование волновых диспергаторов газа в жидкости // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2007. № 6. С. 94–97.
12. Ганиев Р.Ф., Жебынев Д.А., Корнеев А.С., Украинский Л.Е. Об эффекте волнового диспергирования газа в жидкости // Доклады академии наук. 2007. Т. 416. № 3. С. 329–331.
13. Foley J.A, De Fries R, Asner G.P et al. Global consequences of land use // Science. 2005. 309 (5734). P. 570–574.