

УДК 628.316.13

**В. В. МАРКИН**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОБИОТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

Данная работа посвящена определению оптимального режима введения раствора пробиотического средства «Оксидол» в схеме очистки сточной воды перед первичным отстаиванием. В результате проведенных лабораторных исследований выявлено, что необходимое время подачи пробиотика одной дозой должно быть не менее 4-кратной продолжительности прохождения сточной воды по сооружениям, максимальный процент постепенного снижения дозы – 20 %, предельная минимальная доза «Оксидола», позволяющая сохранить эффективность очистки, – 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. Также установлено, что во время стабильной подачи раствора пробиотика наблюдается увеличение эффективности очистки: по взвешенным веществам и БПК<sub>5</sub> – на 9 %, по АА – на 27,3 %, кроме того, уровень фекального запаха осветленной сточной воды снижается до едва уловимого.

**пробиотики, сточная вода, очистка, БПК<sub>5</sub>, взвешенные вещества, азот аммонийный**

Средства, содержащие пробиотические микроорганизмы (пробиотики), получили широкое распространение в медицине и ветеринарии, благодаря обширному диапазону лечебно-профилактического действия и экологической безопасности [1–3].

Использование пробиотиков в сфере очистки сточных вод сравнительно новое направление, не имеющее значительной изученности. Перспективность пробиотических препаратов для обработки сточной воды подробно описана в работах [4, 5].

Особенностью использования пробиотических препаратов для очистки сточной воды является введение пробиотиков с «высокой» начальной дозы и постепенное пошаговое снижение дозировки до определенного минимума. При этом должно стабильно наблюдаться благоприятное воздействие пробиотика на процессы очистки сточной воды: увеличиваться эффективность очистки, уменьшаться уровень запаха от сточной жидкости и, таким образом, повышаться экологическая безопасность канализационных очистных сооружений в целом.

Однако режим введения отдельного пробиотического препарата зависит как от особенностей самого пробиотика, так и от качества сточной воды, ее температуры.

В данной работе осуществлялось изучение оптимального режима введения одного из наиболее перспективных пробиотических препаратов «Оксидол» (Agranco corp., США) и его влияние на процессы очистки сточных вод в лабораторных условиях.

Для проведения исследований были смонтированы две идентичные проточные установки очистки сточной жидкости: в линию № 1 подавался готовый раствор пробиотика, а в линию № 2 не подавался (контрольная линия).

Для работы установки была установлена емкость для хранения сточной жидкости объемом 50 л. С целью предотвращения выпадения взвешенных веществ в осадок емкость оборудовалась механической мешалкой.

Сточную воду из емкости в установки очистки перекачивали два перистальтических насоса GMS PS 4L ( $Q_{\max} = 1,3 \text{ дм}^3/\text{час}$ ). Количество сточной воды, подаваемой на каждую линию очистки, составляло 167 мл/час.

Каждая установка состояла из первичного вертикального отстойника с поперечной перегородкой и конусом в нижней части для сбора и удаления осадка. Форма первичных отстойников в плане квадратная, объем – 250 мл. Фактическое время отстаивания в них составляло: 250 мл / 167 мл/ч  $\approx$  1,5 часа.

Рабочая глубина модельных отстойников – 10 см. Согласно условию седиментационного подобия 1,5 часа отстаивания в имеющемся лабораторном отстойнике равно 3 часам отстаивания в реальном отстойнике с рабочей глубиной 3 м.

После первичных отстойников осветленные стоки подавались на аэротенки объемом 2 дм<sup>3</sup>. Так как расход сточной воды составляет 167 мл/час, то время аэрации равнялось 12 часам. Сточная вода в аэротенках аэрировалась с помощью аквариумных компрессоров. На каждый из двух аэротенков воздух подавался одним компрессором. В качестве системы аэрации выступали аквариумные распылители и соединяющие их резиновые трубки.

В конце аэротенков были выполнены илоотделители со взвешенным слоем осадка. Объем илоотделителей составил 175 мл. Рабочая глубина – 7 см, в плане – квадратный (5×5 см). Время пребывания иловой смеси в илоотделителе 175 / 167 = 1,04 часа. По условию седиментационного подобия 1,04 часа отстаивания в лабораторном илоотделителе равно 2,2 часам отстаивания в реальном отстойнике или илоотделителе с рабочей глубиной 3 м.

В верхней части илоотделителей были установлены водосборные металлические трубки с щелью в верхней части для сбора и отвода очищенной воды. После илоотделителей очищенная сточная жидкость поступала в накопительные емкости № 1 и № 2, из которых отбиралась вода на анализ.

Схема установки очистки № 1 с подачей раствора пробиотика представлена на рисунке. Контрольная установка № 2 аналогична первой, но без подачи пробиотика.

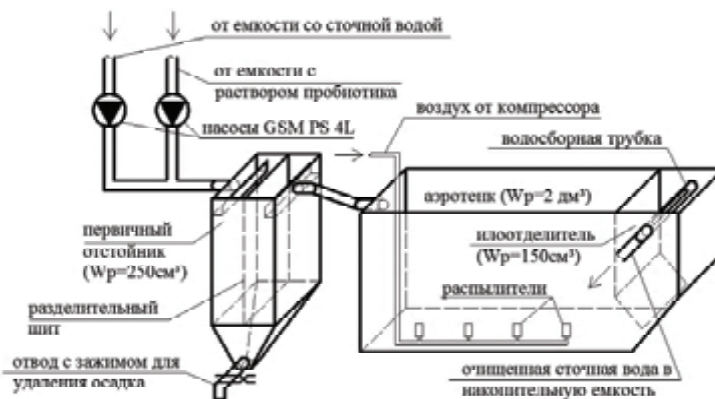


Рисунок – Схема лабораторной установки № 1.

Возможность снижения дозы пробиотического средства возникает в результате размножения бактерий в емкостях очистки и прикреплении (колонизации) их на стенках сооружений. Учитывая слабую адгезионную способность пробиотических бактерий к полимерным пластиковым материалам, для успешного накопления бактерий на стенках емкостей лабораторной установки последние были выполнены (вылиты) из цементного раствора с армированием. К бетонным и цементным поверхностям бактерии успешно прикрепляются и колонизируют их.

Сточную воду и активный ил, используемые в опытах, отбирали на КОС г. Селидово перед первичными отстойниками. Концентрации загрязнений в сточной воде составляли: взвешенные вещества (ВВ) и БПК<sub>5</sub> – 270÷300 мг/дм<sup>3</sup>, азот аммонийный (АА) – 55÷65 мг/дм<sup>3</sup>.

На начальном этапе произвели наладку работы установок и добились того, чтобы они работали в одинаковом режиме. Показатели очистки сточной жидкости должны были быть одинаковыми.

Наладка осуществлялась следующим образом. Активный ил (по 650 мл) залили в аэротенки, сточную жидкость – в накопительную емкость, из которой сточная вода подавалась насосами-дозаторами в первичные отстойники, откуда самотеком перетекала в аэротенки.

В качестве определяющих параметров загрязненности жидкости были выбраны: взвешенные вещества и азот аммонийный, так как методика их определения не требует значительного времени. Анализ на БПК<sub>5</sub> по этой же причине был практически исключен. Контрольные измерения БПК<sub>5</sub>

проводились три раза на стадии стабильной работы установки. Кроме того, определяли запах сточной воды после первичных отстойников, концентрацию растворенного кислорода в иловой смеси, дозу ила по весу, дозу ила по объему, иловый индекс.

Для проведения эксперимента был выбран температурный режим теплого времени года. За все время проведения опыта температура сточной жидкости находилась на уровне 21...24 °С. Период наладки составлял неделю (со 2 по 8 марта 2015 г.). За указанный интервал времени работа обеих установок была выведена на один уровень. Показатели очистки по взвешенным веществам и азоту аммонийному составляли: ВВ на выходе из первой линии 37 мг/дм<sup>3</sup>, из второй 38 мг/дм<sup>3</sup>; АА – 17 и 16 мг/дм<sup>3</sup>, соответственно.

Концентрация растворенного кислорода составляла: 3,5 мг/дм<sup>3</sup> в первой линии и 3,7 мг/дм<sup>3</sup> во второй. Доза ила по объему, по весу и иловый индекс были равны в 1-й и 2-й линиях соответственно: 26 и 25 %; 2,3 г/дм<sup>3</sup> и 2,4 г/дм<sup>3</sup>; 113 мл/г и 104 мл/г. Таким образом, работа установок была полностью налажена и подготовлена для проведения опытов.

Предыдущими исследованиями было установлено, что оптимальной начальной дозой пробиотика «Оксидол» в условиях высокой начальной концентрации загрязнений в стоках и «летней» температуры воды является доза 0,3 мг/дм<sup>3</sup>. Поэтому эта доза была выбрана начальной.

На первой стадии необходимо было определить промежуток времени, в течение которого требуется подавать раствор пробиотика одной дозой, перед тем как ее снижать. Время аэрации в модельных аэротенках составляло около 12 часов. За сутки через установки проходили две разные порции воды. Именно пребывание пробиотиков со сточной водой в двухкратном обмене (или сутки для имеющихся установок) было выбрано начальным интервалом подачи пробиотика постоянной дозой.

Раствор пробиотика начали вводить в линию № 1 9.03.15 г. перистальтическим насосом-дозатором. Анализ воды показал улучшение очистки в первой линии: по взвешенным веществам 16 мг/дм<sup>3</sup> на выходе, азот аммонийный – 2,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Через сутки (10.03.15 г.) дозу снизили на 10 % – до 0,27 мг/дм<sup>3</sup>. При этом процесс очистки в первой линии явно ухудшился: ВВ на выходе 20 мг/дм<sup>3</sup>, АА – 8 мг/дм<sup>3</sup>. Опыт показал, что требуется более длительное время подачи пробиотика в неизменной дозе. Это время было увеличено до 4-кратной продолжительности прохождения сточной жидкости по установке очистки (в нашем случае двое суток).

В течение двух суток (11–12.03.2015 г.) пробиотическое средство подавалось в линию № 1 в исходной дозе  $d = 0,3$  мг/дм<sup>3</sup>. За это время отмечено снижение загрязнений на выходе: ВВ – 16 мг/дм<sup>3</sup>, АА – 2,3 мг/дм<sup>3</sup>. После чего доза была снижена на 10 % (0,27 мг/дм<sup>3</sup>), этой дозой стоки обрабатывались еще двое суток (13–14.03.2015 г.). Эффект очистки за это время сохранился: ВВ – 14 мг/дм<sup>3</sup>, АА – 21,5 мг/дм<sup>3</sup>. Следующие двое суток (15–16.03.2015 г.) раствор в линию № 1 подавался сниженный на 15 % от предыдущего – 0,23 мг/дм<sup>3</sup>, 17–18.03.2015 г. снижение дозы составляло 20 % – 0,18 мг/дм<sup>3</sup>. За время работы (15–18.03.15 г.) эффект очистки сохранялся на достигнутом уровне.

Затем, 19–20.03.15 г. дозу пробиотика снизили на 25 % и она составила 0,135 мг/дм<sup>3</sup>. При этом показатели выходящей воды ухудшились: ВВ – 26 мг/дм<sup>3</sup>, АА – 8 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким образом было установлено, что оптимальным является шаг снижения дозы пробиотика – 20 %, а время подачи пробиотика одной дозой – 4-кратное время прохождения сточной воды по сооружениям.

Для подтверждения выявленной закономерности опыт был начат заново, аэротенки опорожнены и активный ил в них заменен. Подачу пробиотика возобновили с начальной дозы 0,3 мг/дм<sup>3</sup> и через каждые двое суток снижали на 20 %.

Таким образом, с 21.03.15 г. по 8.04.15 г. дозы пробиотика снижались через каждые двое суток в следующей последовательности: 0,30–0,24–0,19–0,15–0,12–0,095–0,075–0,06–0,05–0,04 мг/дм<sup>3</sup>. На протяжении указанного времени эффективность очистки в линии № 1 была стабильно увеличена.

Усредненные показатели работы установок за это время приведены в таблице. Взвешенные вещества на входе составляли в среднем 286,5 мг/дм<sup>3</sup>, на выходе из первой установки – 13,2 мг/дм<sup>3</sup> (процент очистки – 95,4 %), из второй 38 мг/дм<sup>3</sup> (процент очистки – 86,7 %). Разница в концентрациях между линиями составила около 25 мг/дм<sup>3</sup>, увеличение эффекта очистки – на 8,7 %.

Азот аммонийный в исходной воде был в среднем 60,6 мг/дм<sup>3</sup>. На выходе из первой установки – 1,6 мг/дм<sup>3</sup> (процент очистки – 97,4 %), из второй – 18,2 мг/дм<sup>3</sup> (процент очистки – 70 %). Разница между линиями по выходным концентрациям азота аммонийного – 16,6 мг/дм<sup>3</sup>, увеличение эффекта очистки по азоту аммонийному – в среднем на 27,4 %.

**Таблица** – Усредненные показатели исходной и очищенной сточной воды за время стабильной работы установки с 21.03.15 г. по 9.04.15 г.

Показатели		Поступающая вода	Биологически очищенная вода	
Взвешенные вещества	Установка № 1 (с пробиотиком)	мг/дм <sup>3</sup>	286,5	13,2
		% снижения	–	95,4
	Установка № 2 (контроль)	мг/дм <sup>3</sup>	286,5	38
		% снижения	–	86,7
	Разница между линиями, мг/дм <sup>3</sup>		–	24,8
	В процентах, %		–	8,7
Азот аммонийный	Установка № 1 (с пробиотиком)	мг/дм <sup>3</sup>	60,6	1,59
		% снижения	–	97,4
	Установка № 2 (контроль)	мг/дм <sup>3</sup>	60,6	18,2
		% снижения	–	70,0
	Разница между линиями, мг/дм <sup>3</sup>		–	16,61
	В процентах, %		–	27,4

Контрольные определения БПК<sub>5</sub> осуществлялись 26.03.15 г., 03.04.15 г. и 08.04.15 г. при дозах пробиотика соответственно 0,19 г/дм<sup>3</sup>, 0,075 г/дм<sup>3</sup> и 0,04 г/дм<sup>3</sup>. В очищенной воде в линии № 1 26.03.15 г. БПК<sub>5</sub> составило 14 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, в линии № 38 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, 03.04.15 г. БПК<sub>5</sub> равнялось 13 и 16 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> соответственно, 08.04.15 г. – 15 и 39 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> соответственно. Контрольные измерения БПК<sub>5</sub> выявили, что этот показатель очистки снижался примерно в такой же степени, как и взвешенные вещества.

Уровень запаха, определяемый в исходной воде и отстаиваемой в первичном отстойнике в линии № 2, находился без изменений и был резко фекальным, четко ощущаемым даже на расстоянии 2...3 м от емкости с жидкостью. В линии № 1 через 2–4 часа с момента подачи пробиотика дозой 0,3 мг/дм<sup>3</sup> запах в отстаиваемой воде значительно снижался и ощущался только возле самой поверхности воды. Далее, в моменты снижения эффекта очистки, уровень запаха повышался. Однако за время стабильной работы установки (с 21.03.15 г. по 08.04.15 г.) уровень выделения зловонных запахов от первичного отстойника был стабильно низким. Таким образом, введение пробиотика обеспечило эффективное снижение уровня запаха после первичного отстаивания.

В период 10–11.04.15 г. доза пробиотического средства была уменьшена до 0,03 мг/дм<sup>3</sup>. В результате уменьшения дозы до указанного значения показатели очистки в первой линии значительно ухудшились: ВВ – 22 мг/дм<sup>3</sup>, АА – 6 мг/дм<sup>3</sup>.

На следующие двое суток дозу пробиотика увеличили до 0,15 мг/дм<sup>3</sup> (50 % от начальной). В результате эффективность очистки в установке № 1 повысилась до прежнего уровня: ВВ – 14 мг/дм<sup>3</sup>, АА – 1,5 мг/дм<sup>3</sup>. В следующие сутки подачу «Оксидола» в линию № 1 прекратили. За это время параметры очистки снизились до: ВВ – 25 мг/дм<sup>3</sup>, АА – 8 мг/дм<sup>3</sup>.

Затем на двое суток вернулись к прежней дозе 0,15 мг/дм<sup>3</sup>. Показатели очистки вновь вернулись на прежние уровни: ВВ – 15 мг/дм<sup>3</sup>, АА – 1,8 мг/дм<sup>3</sup>.

После этого снова прекратили подачу раствора пробиотического средства, но уже на двое суток. Взвешенные вещества на выходе за это время составили 27 мг/дм<sup>3</sup>, азот аммонийный – 14 мг/дм<sup>3</sup>. Следующие двое суток подачу пробиотика возобновили дозой 0,15 мг/дм<sup>3</sup>. Однако достигнуть прежней эффективности очистки уже не удалось: ВВ на выходе – 23 мг/дм<sup>3</sup>, азот аммонийный – 11 мг/дм<sup>3</sup>. На этом эксперимент был завершен.

## ВЫВОДЫ

1. Оптимальным «шагом» снижения дозы раствора «Оксидола», не приводящим к уменьшению эффективности очистки, является уменьшение на 20 % от подаваемой дозы, а продолжительность подачи пробиотика одной дозой должна быть не менее 4-х кратного времени прохождения сточной воды по сооружениям.

2. Наименьшая доза подачи «Оксидола», позволяющая сохранить эффективность очистки – 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. При снижении до 0,03 мг/дм<sup>3</sup> эффект очистки значительно ухудшается.

3. При подаче пробиотика наименьшей дозой (0,04 мг/дм<sup>3</sup>) и внезапном прекращении введения раствора пробиотика на время до 2-кратной продолжительности пребывания сточной жидкости в сооружениях, для восстановления полученного эффекта очистки требуется возобновить подачу раствора с 50%-й дозы от начальной (0,15 мг/дм<sup>3</sup>).

4. В случае прекращения подачи пробиотика на время 4-х кратной продолжительности пребывания сточной воды в сооружениях для достижения необходимой степени очистки потребуется начать режим насыщения заново с начальной дозы – 0,3 мг/дм<sup>3</sup>.

5. Во время стабильной подачи раствора «Оксидола» наблюдается значительное увеличение эффективности очистки: по ВВ и БПК<sub>5</sub> ~ на 9 %, по АА – на 27,3 %, кроме того, уровень фекального запаха осветленной сточной воды снижается до едва уловимого.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пробиотики и механизмы их лечебного действия [Текст] / В. М. Бондаренко, Р. П. Чуприна, Ж. И. Аладышева, Т. В. Мацулевич // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. – 2004. – № 3. – С. 83–87.
2. Гришель, А. И. Пробиотики и их роль в современной медицине [Текст] / А. И. Гришель, Е. П. Кишкурно // Вестник фармации. – 2009. – № 1 (43). – С. 90–93.
3. Рекомбинантные пробиотики: проблемы и перспективы использования в медицине и ветеринарии [Текст] / И. Б. Сорокулова, В. А. Белявская, В. А. Масычева, В. В. Смирнов // Вестник РАМН. – 1997. – № 3. – С. 46–49.
4. Маркин, В. В. Возможности интенсификации очистки городских сточных вод с помощью пробиотических средств [Текст] / В. В. Маркин // Коммунальное хозяйство городов. – 2014. – № 114. – С. 131–135.
5. Насонкина, Н. Г. Предварительная очистка сточных вод с помощью пробиотических средств [Текст] / Н. Г. Насонкина, В. В. Маркин // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2014. – Vol. 16, № 6. – P. 125–133.

Получено 21.03.2016

#### В. В. МАРКІН ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОБІОТИЧНИХ ЗАСОБІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Дана робота присвячена визначенню оптимального режиму введення розчину пробиотичного засобу «Оксидол» у схемі очищення стічної води перед первинним відстоюванням. У результаті проведених лабораторних досліджень виявлено, що необхідний час подачі пробиотика однією дозою має бути не менше 4-кратної тривалості проходження стічної води по спорудах, максимальний відсоток поступового зниження дози – 20 %, гранична мінімальна доза «Оксидола», що дозволяє зберегти ефективність очищення, – 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. Також встановлено, що під час стабільної подачі розчину пробиотика спостерігається збільшення ефективності очищення: по зважених речовинах і БСК<sub>5</sub> ~ на 9 %, по АА – на 27,3 %, крім того, рівень фекального запаху освітленої стічної води знижується до ледве помітного.

**пробиотики, стічна вода, очищення, БСК<sub>5</sub>, завислі речовини, азот амонійний**

#### VYACHESLAV MARKIN IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL SAFETY AND EFFICIENT OPERATION OF SEWAGE TREATMENT PLANTS USING PROBIOTIC AGENTS Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This work is devoted to determining the optimal mode of introduction of the solution of probiotic agents «Oxidol» in the waste water treatment scheme before the primary settling. As a result of revealed laboratory investigations it was found that the necessary time of introduction of probiotic in single dose should be no less than 4 times of the wastewater flowing through the facilities, the maximum percentage of gradual dose reduction – 20 %, limit minimum dose «Oxidol», allows you to keep cleaning efficiency, – 0,04 mg/l. It was established that during stable probiotic introduction increase of efficiency of treatment is observed: for suspended solids and BOD<sub>5</sub> treatment efficiency is increased ~ by 9 %, for ammonia nitrogen – by 27,3 %, in addition, the level of the fecal odor of clarified wastewater is reduced to a barely perceptible.

**probiotics, waste water, treatment, BOD<sub>5</sub>, suspended solids, ammonia nitrogen**

**Маркін В'ячеслав Володимирович** – магістр; аспірант кафедри міського будівництва і господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: очищення стічних вод.

**Маркин Вячеслав Владимирович** – магистр; аспирант кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: очистка сточных вод.

**Vyacheslav Markin** – Master, post-graduate, Urban Construction and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: wastewater treatment.