

$$R(\rho) = \exp(-\alpha \cdot \rho^\beta), \quad (10)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  эмпирические коэффициенты, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристика статистической структуры баланса естественного увлажнения Беларуси

Параметры	апрель	май	июнь	июль	август	Вегетационный период
$\alpha$	0,03	0,05	0,09	0,07	0,04	0,05
$\beta$	0,51	0,47	0,32	0,40	0,48	0,44

Сезонный ход изменчивости связности поля баланса естественного увлажнения почвы устанавливается достаточно уверенно: минимум корреляция достигается в мае. Отмечается большая коррелированность в апреле, июне и в сентябре. Поле баланса естественного увлажнения почвы в апреле характеризуется значительной однородностью, так как в это время влаги в почве достаточно, чтобы поддерживать оптимальный водно-воздушный режим и баланс естественного увлажнения почвы по всей территории избыточный, наблюдаются однородные поля на достаточно обширных территориях. В мае весенние влагозапасы значительно истощаются, большую роль играет механический состав почвы и на первое место выступают атмосферные осадки, которые в этот период неоднородны. Этот месяц является как бы переходным, в это время наблюдаются как дефициты влаги, так и избытки. Когда в июне весенние влагозапасы, в основном, расходованы и по всей территории наблюдается дефицит водного баланса корнеобитаемого слоя. В сентябре бывают достаточно затяжные дожди, которые охватывают большие территории и в это время почти повсеместно отмечаются избытки влаги.

Вопрос анизотропности поля баланса естественного увлажнения изучался путем исследования изокоррелят для различных периодов осреднения. Поля изокоррелят для каждого месяца имеют вид эллипсов, меньшая ось которых ориентирована в направлении преобладающего переноса воздушных масс (рисунок 2).

В апреле и мае изокорреляты по форме близки к кругу. В этот период поля баланса естественного увлажнения, в основном, однородны, так как повсеместно баланс естественного

увлажнения имеет положительный знак или оптимален. В июне баланс естественного увлажнения уже имеет разные знаки по территории. Влажность почвы определяется метеорологическими условиями (атмосферными осадками и теплоэнергетическими ресурсами испарения), поэтому изокорреляты приобретают форму эллипсов с большой осью ориентированной в направлении северо-восток – юго-запад. В этот период атмосферное давление понижается с юго-запада – северо-восток и преобладающими становятся северо-западные и западные ветры. Они связаны либо с тыловой частью западных циклонов, либо с восточной окраиной областей высокого давления, идущих с Атлантики на материк [3]. Менее выражены, но идентичные по характеру изокорреляты наблюдаются и в июле месяце, так как атмосферные процессы в июне и июле схожи. В августе главная ось эллипса занимает положение запад – восток, здесь на первый план выступают теплоресурсы, которые и определяют характер изменения баланса естественного увлажнения. В целом за вегетационный период характер изокоррелят представляет собой эллипс с главной осью ориентированной в направлении север – юг, так как преобладающее влияние оказывают воздушные массы Атлантического океана.

Учет пространственно-временных колебаний естественного увлажнения позволяет раскрыть закономерности формирования водного режима больших территорий и уточнить потребности в воде при мелиорации больших территорий. Что в свою очередь, сокращает проектные потребности в водных ресурсах в целом водохозяйственного комплекса страны.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Валуев В.Е., Волчек А.А., Мешик О.П. Моделирование динамики почвенных влагозапасов на стадии управления сооружениями мелиоративных систем // «Вестник БПИ – Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология», №2, 2000 – С. 30 – 35.
2. Конторщикова В.И. Статистическая структура поля влажности почвы Украины // Тр. УкрНИИГМИ. – 1979. – Вып. 171. – С. 120.
3. Климат Беларуси / Под ред. В.Ф. Логинова. – Минск: Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – С. 234.

УДК 628.32

**Пойта Л.Л.**

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОРОСИТЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Биофильтры применяют в практике очистки сточных вод на различных ступенях обработки стоков: как самостоятельное сооружение для биологической очистки; при двухступенчатой биохимической очистке в комплексе с аэротенками; как нитрификатор при необходимости удаления азота из сточных вод. Различия в условиях работы данных сооружений определяют и отличия в их основных конструктивных параметрах. Производительность и эффективность работы биологических фильтров зависят от интенсивности жизненных функций микроорганизмов, причем определяющими являются процессы питания и дыхания, которые должны происходить непрерывно и параллельно, и на которые в значительной мере оказывают влияние гидродинамические условия, возникающие в биофильтрах. Гидродинамическая обстановка в биологиче-

ских фильтрах определяется способом подачи жидкости, системой распределения ее по поверхности загрузки и видом загрузки. Система распределения жидкости, в свою очередь, определяется конструктивными особенностями водораспределительных устройств.

Для распределения сточной жидкости по поверхности биофильтра используются специальные распределительные устройства, которые подразделяются на две основные группы: неподвижные и подвижные. К неподвижным оросителям относятся: дырчатые желоба или трубы, спринклеры. К подвижным — качающиеся желоба, движущиеся наливные колеса и вращающиеся реактивные распределители. Из неподвижных в отечественной и зарубежной практике наибольшее распространение получили спринклеры.

Спринклерная система состоит из дозирующего бака, раз-

*Пойта Людмила Лаврентьевна. Доцент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения БГТУ.*

*Брестский государственный технический университет (БГТУ). Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.*

водящей сети и спринклеров. Дозирующий бак автоматически подает воду в спринклерную сеть под постоянным напором. Продолжительность опорожнения бака (период орошения), зависящая в основном от вместимости бака и размеров выпускаемой трубы, всегда одинаковая; продолжительность же наполнения бака зависит от притока сточных вод, который колеблется в течение суток, поэтому орошение биофильтра производится периодически через неравные промежутки времени. Недостатками спринклерного распределения сточных вод является то, что они требуют значительного напора (порядка 2-х метров) для своего действия, и получается значительной большой величины “распределительного отношения”. Опыт применения спринклерной системы и ее основные расчетные параметры приведены в работах [1-5].

Вращающиеся реактивные оросители состоят из двух или четырех дырчатых труб, консольнозакрепленных на общем стояке. Вода из распределительной камеры под некоторым напором поступает в стояк, который установлен на шариковых подшипниках и может свободно вращаться вокруг своей вертикальной оси. Из стояка вода поступает в радиально расположенные трубы и через отверстия в них выливается на поверхность биофильтра. Возникающая при истечении воды из отверстий реактивная сила приводит в движение ороситель, который начинает вращаться. Для приведения в действие реактивного оросителя необходим сравнительно небольшой напор (0.2...1 м), что является одним из достоинств этого устройства. Кроме того, при использовании оросителей данного типа отпадает необходимость в устройстве дозаторов, так как расстояние между отверстиями увеличивается от периферии к центру, что обеспечивает относительно равномерное орошение биофильтра. К недостаткам же реактивных оросителей следует отнести необходимость строить фильтры обязательно круглыми в плане (тогда как прямоугольные фильтры дают экономии в площади, и если используют сразу несколько таких фильтров, то сокращается количество промежуточных стен), а также возможные осложнения при эксплуатации их в зимнее время.

Подвижные оросители типа движущегося наливного колеса, который представляет собой длинный полый цилиндр с лопастями на поверхности. Цилиндр расположен над биофильтром и при подаче в него сточной воды движется по рельсам, уложенным на стенках сооружения. Сточная вода поступает на лопасти одной стороны оросителя и своим весом приводит его во вращение, вследствие чего ороситель передвигается. Подача воды на ороситель производится по перфорированной трубе, идущей над ним. Движущийся ороситель может быть самоходным или приводиться в движение электродвигателем. Недостатками подвижных оросителей являются: наличие вращающихся частей, быстрая забиваемость отверстий и щелей, и вследствие этого, неравномерное орошение поверхности биофильтра. Кроме того, конструкции подвижных оросителей вызывают затруднения в подвешивании их к оси и уравнивании их для поддержания в горизонтальном положении. Также, при большой силе ветра, оросители данного типа могут вращаться в обратном направлении. Конструкция и области наиболее рационального использования вращающихся оросителей описаны в работах [3-7].

Приведенные типы оросителей должны обеспечивать нормальную работу биофильтров, необходимыми условиями которой являются: равномерная по площади и периодическая по времени подача сточных вод, проникновение надлежащего количества воздуха в загрузочный материал и достаточная продолжительность контакта сточной жидкости с загрузочным материалом. Проникновение воздуха в загрузочный материал биофильтра достигается с одной стороны вентиляцией сооружения и, с другой стороны, — периодичностью орошения поверхности биофильтра, которая зависит от типа ороси-

тельного устройства. Системе спринклерного распределения характерно циклическое орошение фильтра, вращающимся же оросителям — непрерывное орошение. Прерывистое (циклическое) орошение обеспечивает лучшие условия проникновения воздуха и, тем самым, интенсифицирует процесс биохимической очистки. Учитывая это, при выборе конструкции оросителя для достижения более высокого эффекта очистки следует отдать предпочтение оросителям циклического действия. Однако, учитывая недостатки конструкции спринклерного распределения, следует заметить, что целесообразным является замена спринклеров и бачков-дозаторов на автономный циклический регулируемый ороситель. Такой конструкцией является разработанный [8] ороситель циклического действия типа “шахтный водослив”, содержащий небольшую приемную емкость, сливной патрубков с отбойным элементом и колпачком (см. рисунок).

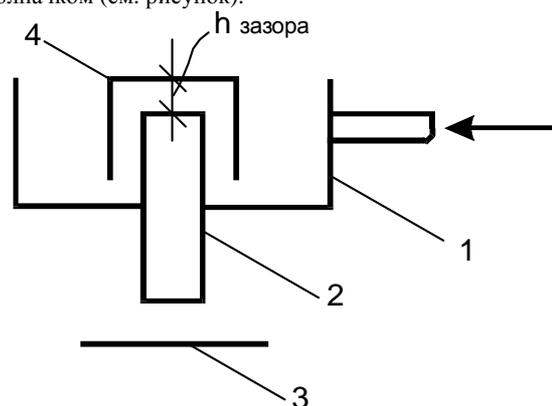


Рисунок - Ороситель циклического действия:  
1 — приемная емкость; 2 — сливной патрубков;  
3 — отбойник; 4 — колпачок.

Принцип действия оросителя циклического действия следующий: при заполнении приемной емкости 1 жидкостью, которая затем проходит в подколпачковое пространство, вытесняя из него воздух до определенного уровня (до верха сливного патрубка 2). Патрубок 2 засифонивается, жидкость начинает изливаться из него, увлекая воздух, находящийся под колпачком 4. После удаления воздуха подколпачковое пространство снова заполняется жидкостью и ороситель вновь засифонивается.

Слив жидкости через патрубок 2 происходит до снижения уровня ее в приемной емкости 1 до низа колпачка 4. При этом происходит разрыв струи потока жидкости, и цикл слива прекращается. Затем уровень жидкости в оросителе начинает повышаться и вышеописанный цикл работы повторяется.

Данная конструкция оросителя позволяет интенсифицировать работу биофильтров путем обеспечения одинаковой плотности и периодичности орошения. По мере вытекания жидкости из приемной емкости оросителя радиус действия кольцевой струи, зависящий от напора, постепенно уменьшается, при этом пропорционально уменьшается и орошаемая в данный момент времени поверхность загрузки. Кроме того, тонкий слой вытекающей струи обеспечивает высокое насыщение жидкости кислородом воздуха.

Предложенная конструкция оросителя позволяет регулировать частоту сливов путем изменения высоты зазора. Добившись оптимальных частот орошения можно повысить степень очистки сточных вод и увеличить пропускную способность биофильтров.

Данная конструкция оросителя была подвержена испытаниям на массообменные характеристики. Лабораторная модель имела следующую характеристику: длина сливного патрубка 200 мм, диаметр сливного патрубка (внутренний) 16

мм, диаметр колпачка (внутренний) 36 мм, высота зазора 8 мм. Ороситель отстоял от загрузки на расстоянии 100 мм. Концентрация растворенного кислорода определялась по кислородомеру КЛ-115. Обескислороживание воды производилось сульфитом натрия с добавлением в качестве катализатора хлористого кобальта до концентрации кислорода 2...3 мг/л.

В результате исследований массообменных характеристик оросителя установлено, что концентрация растворенного кислорода в воде, прошедшей биофильтры, высока и практически приближается к пределу растворимости кислорода при данных условиях.

Экспериментальными исследованиями установлены также рациональные размеры всех элементов оросителя циклического действия, определены оптимальные соотношения длин и диаметров сливных патрубков. Ниже приводятся данные для конструирования циклических оросителей биофильтров.

1. Площадь сечения сливного патрубка, (м<sup>2</sup>):

$$f_{\text{вн}} = \frac{q}{v_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где  $q$  — расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$v_{\text{ср}}$  — средняя скорость подачи жидкости через патрубок оросителя, 0.3...0.5 м/с.

2. Диаметр сливного патрубка, (м):

$$d_{\text{вн}} = 2\sqrt{\frac{f_{\text{вн}}}{\pi}}. \quad (2)$$

3. Площадь сечения колпачка, (м<sup>2</sup>):

$$F_{\text{вн}} = f_{\text{вн}} + f_{\text{нар}}. \quad (3)$$

4. Диаметр колпачка, (м):

$$D_{\text{вн}} = 2\sqrt{\frac{F_{\text{вн}}}{\pi}} \approx (2...2.2) \cdot d_{\text{вн}}. \quad (4)$$

5. Зазор между днищем колпачка и патрубком, (м):

$$h_{\text{зазора}} = \left(\frac{1}{3}... \frac{1}{4}\right) \cdot d_{\text{вн}}. \quad (5)$$

6. Зазор между отбойным диском и патрубком, (м):

$$a = \left(\frac{1}{4}... \frac{1}{5}\right) \cdot d_{\text{вн}}. \quad (6)$$

7. Диаметр приемной емкости  $D_6$  и высота колпачка  $h$  принимается конструктивно.

8. Объем жидкости сливаемой через ороситель за цикл, (м<sup>3</sup>):

$$W = \frac{\pi \cdot D_6^2}{4} h. \quad (7)$$

9. Время слива жидкости из оросителя, расчетное, с:

$$\tau_{\text{сл.расч}} = \frac{W}{v_{\text{сл}} \cdot f_{\text{вн}}}, \quad (8)$$

где  $v_{\text{сл}}=0.6...1$  м/с — скорость слива жидкости через патрубок.

10. Время слива жидкости из оросителя, фактическое, (с):

$$\tau_{\text{сл.факт}} \approx 1.75 \cdot \tau_{\text{сл.расч}}. \quad (9)$$

11. Время заполнения жидкостью приемной емкостью, (с):

$$\tau_{\text{зап}} = \frac{W}{q}. \quad (10)$$

12. Общее время цикла работы оросителя, (с):

$$\tau_{\text{цикл}} = \tau_{\text{зап}} + \tau_{\text{сл.факт}}. \quad (11)$$

13. Длина патрубка, (м):

$$l = d \cdot (2.5...15), \quad (12)$$

при  $d=0.02...0.15$  м.

14. Толщина стенки патрубка:

$$b \geq 3 \text{ мм при } d \geq 30 \text{ мм}; b \geq 2 \text{ мм при } d < 30 \text{ мм}.$$

15. Высота расположения оросителя над насадкой, (м):

$$y = \frac{x^2}{4\phi^2 \cdot H}, \quad (13)$$

где  $x$  — абсцисса вылета кольцевой струи, (м);

$\phi=0.8...0.9$  — коэффициент;

$H$  — высота напора столба жидкости, (м).

## ВЫВОДЫ

1. Применяемые в настоящее время конструкции биофильтров требуют усовершенствования. Для проведения наиболее эффективной очистки сточных вод предпочтительно использовать оросители циклического действия.
2. Применение оросителя циклического действия типа "шахтный водослив" позволяет оптимизировать режим орошения, повысить массообменную способность и увеличить пропускную способность биофильтров.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Базенов В.В. Высоконагружаемые биологические фильтры// Санитарная техника: Сб. тр. — М.: АКХ РСФСР, 1948. — вып. 1.
2. Головачевский Ю.А. Оросители и форсунки скруберов химической промышленности. — М.: Машиностроение, 1967.
3. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/ Справочник проектировщика. — М.: Стройиздат, 1981. — 639 с.
4. Яковлев В.В., Воронов Ю.В. Биологические фильтры. — М.: Стройиздат, 1982.
5. Яковлев В.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колобанов С.К. Канализация. — М.: Стройиздат, 1975. — 632 с.
6. Синеев О.Г., Охринюк Б.Ф. Способ интенсификации работы биофильтров// Известия вузов. Строительство и архитектура. — М., 1980. — вып. 3. — С. 97-100.
7. Сипачева М.А., Волков Л.С. К вопросу оптимизации фильтров для очистки сточных вод// Сб. тр. Челябинского политехнического института. — 1967. — №217. — С. 3-10.
8. А. с. 1640921 СССР, Струйный аэратор/ Л.Л. Пойга, Н.В. Васин, Е.И. Дмухайло и др. (СССР). — № 4701126; заявлено 25.04.89; зарег. 8.12.90.