

В.В. Ларьков (БГСХА, г. Горки)

## **ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕВЫХ ОБЪЕМНО-ФИЛЬТРУЮЩИХ ОТСТОЙНИКОВ**

### **Актуальность вопроса**

При строительстве, реконструкции и эксплуатации мелиоративных и водохозяйственных объектов требуется соблюдение природоохранных мероприятий [1-6].

Для уменьшения природной и антропогенной нагрузки на водосточники проводят различные мероприятия на водосборе, на самих водотоках и в прибрежной зоне водоемов. Природоохранные мероприятия на водосборе включают: прекращение или снижение сбросов бытовых стоков промышленных и сельскохозяйственных предприятий; создание и использование экологически безопасных технологий транспортировки, хранения и внесения удобрений; более полная и глубокая утилизация животноводческих стоков, соблюдение культуры земледелия на склонах и прибрежных участках водосбора. Целесообразно сохранение или создание на водосборе лесных зон или полос площадью до 30%, а также болот до 10%.

Особая роль и значение в этом экологическом комплексе отводится охране и восстановлению водных объектов – искусственных и естественных водоемов и водотоков.

Водоохранные мероприятия на самих водотоках должны способствовать интенсификации процесса самоочищения. Для этих целей наиболее широко используют отстойники. На малых водотоках: – мелиоративных каналах, малых реках применяют простейшие типы отстойников в виде уширенного и углубленного русла или прокопа, а также сооружения с природными «фильтрами» – биоплато, биопруды. В биоотстойниках в качестве «фильтра» применяют высшую водную растительность: камыш озерный, роголистник, тростник обыкновенный и др.

Предложен ряд методов расчетного и проектного обоснования простейших отстойников для малых водотоков. Так в работе [6] на мелиоративных каналах рекомендуется применять отстойники с

параметрами выемки в плане 15×15 метров с углублением ниши дна канала на 0,3 м, а биологические пруды (биоплато) - площадью 1,5-5 га, с отношением длиной стороны к ширине 4:1 и глубиной 0,5-2 м [5].

Отстойники для очистки животноводческих стоков еще более сложны. Есть рекомендации по их конструктивному решению, которые включают: несколько ступеней очистки: с использованием сточного канала длиной 1-2,5 км; или каскада прудов от 3 до 5 га (длиной 0,3-0,5 км и шириной 0,06-0,1 км).

Использование сточных каналов требует значительных объемов земработ и больших по протяженности участков местности. При этом отсутствует действенный механизм управления качеством очистки.

Биопруды и биоплато – достаточно сложные инженерно-биологические объекты, т. к. необходимо создание фильтрующей подготовки, дренажных устройств, посадки высшей водной растительности, периодическая их замена и восстановление требует значительных капитальных и эксплуатационных затрат.

Поэтому поиск более совершенных экономичных решений гидроэкологической проблемы является весьма актуальным.

### **Программа и методика проведения исследований**

В данной работе рассматривается полевой русловой отстойник, в котором в качестве фильтрующего наносозадерживающего материала (фильтра) используется природный материал – хвойные ветки и вершины с толщиной древесины меньше 3 см. Возможность его применения составляет предмет наших исследований.

Фильтрационные характеристики любого материала определяются, как правило, опытным путем. Ввиду отсутствия таких данных по хвойному фильтру были выполнены комплексные лабораторные его исследования.

Программой исследований предусматривалось:

– определить коэффициент фильтрации в зависимости от пористости материала,  $K_{\phi} = f(n)$ ;

– определить пористость фильтра в зависимости от его плотности,  $n = f(\gamma_{\phi})$ , кг/м<sup>3</sup>;

– оценить наносозадерживающую способность хвойного фильтра через плотность наносов (заиления),  $\gamma_n = \varphi(n; \gamma_\phi)$ .

Опыты проводились в лаборатории Мелиорации и в лаборатории Использования водных ресурсов БГСХА на экспериментальной фильтрационной установке в состав которой входит: прибора Дарси, бак для суспензии с микровертушкой, дополнительные фильтры-отстойники, система водоподвода и водоотведения, водомерные устройства.

Для приготовления мутного потока (суспензии) использовался илстый (озерный) грунт и мелкозернистый песок.

Коэффициент фильтрации естественного материала определялся для образцов разной плотности,  $\gamma_\phi$ . Для каждой пробы бралась навеска хвойного материала  $P_\phi$ . Зная измеренный рабочий объем камеры  $W$  отстойника (прибора Дарси) вычислялась начальная плотность фильтра:

$$\gamma_\phi = \frac{P_\phi}{W_\kappa} \quad (1)$$

Фильтрационный материал равномерно загружался в контейнер, изготовленный из нетканого материала (пропилена), а затем помещался в рабочую камеру. Подготовленный таким образом прибор подключался к водоподаче, отстойнику холостого сброса и водоотводу.

Коэффициент фильтрации определялся с использованием зависимостей:

$$k_\phi = \frac{Q}{\omega I}; \quad (2)$$

$$I = \frac{\Delta H}{\Delta L}, \quad (3)$$

где  $Q$  – измеренный расход, л/с;  $\omega$  – площадь поперечного сечения фильтра (цилиндра), см<sup>2</sup>;  $\Delta H$  – разность уровней в верхнем и нижнем пьезометрах, см;  $\Delta L$  – расстояние между пьезометрами, см.

Определение плотности наносов. Плотность и количество наносов, накопившихся в отстойнике (филт্রে) определялось для двух серий опытов: с филтрами одинаковой по длине (высоте), начальной плотностью филтрующего материала  $\gamma_{\phi} = (const)$ , и филтрами с переменной плотностью. Такая методика была принята для изучения влияния плотности загрузки отстойника филтрующим материалом на интенсивность и степень заиления отстойника, и на его филтрационные характеристики. При изучении и анализе результатов использовались зависимости:

$$\gamma_{\phi} = P_{\phi} / W_{от}; \quad (4)$$

$$\gamma_{ин} = P_{ин} / W_{от}; \quad (5)$$

$$P_{ин} = P_{об} - P_{\phi}, \quad (6)$$

где  $P_{об}$  – масса филтрационного материала ( $P_{\phi}$ ) с наносами;  
 $W_{от}$  – рабочий объём отстойника.

При определении указанных показателей, в качестве исходной принималась естественная влажность хвои. Влажность наносов после опыта доводилась высушиванием до начальной, которая для песчаного грунта, которая была принята 10...12 %, для илистого – 16...18 %.

При проведении опыта из взятой пробы грунта затворялась суспензия с начальной мутностью 250...400 мг/л. Постоянная мутность в накопительной ёмкости (баке) обеспечивалась работой микроэлектровертушкой.

Определение пористости филтра. Для определения пористости исследуемого филтра были использованы зависимости:

$$n = \frac{W_0}{W_{общ}}; \quad (7)$$

$$W_{общ} = W_{\phi} + W_n + W_0; \quad (8)$$

$$W_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{\gamma_{\phi}}; \quad (9)$$

$$W_{н} = \frac{P_{н}}{\gamma_{н}}; \quad (10)$$

$$P_{н} = P_{общ} - P_{\phi}, \quad (11)$$

где  $W_0$  – измеренный объем воды при полном погружении фильтра под мениск;  $P_{общ}$  – общая масса фильтра естественной влажности в воздушно-сухом состоянии, кг;  $P_{\phi}$  – масса фильтрационного материала образца, помещённого в прибор.

При выполнении опытов по определению остаточной (после заилиения) пористости фильтра, опыт проводился по следующему циклу.

Бралась навеска фильтрующего материала  $P_{\phi} = \gamma_{\phi} W_{\phi}$  и погружалась в прибор Дарси, предварительно уложив его равномерно в цилиндрический контейнер равный по размеру цилиндра прибора Дарси. После подготовки прибора к испытанию в него равномерно подавалась суспензия с заданной начальной мутностью. Процесс фильтрации контролировался следующими параметрами: фильтрационным расходом  $Q$ , л/с; показаниями пьезометров  $h_{п}$ ; остаточной мутностью  $P_{ос}$ , кг/л.

Продолжительность опыта определялась по двум показателям – по стабилизации фильтрационного расхода  $Q$ , л/с и по степени кальматизации фильтра. Опыты показали, что эти два показателя тесно связаны друг с другом. Т.е. при резком снижении фильтрационного расхода наблюдалось, как и следует ожидать, резкое повышение уровня в верхнем пьезометре (действующего напора).

### Результаты исследований

Определение коэффициента фильтрации. Коэффициент фильтрации определялся по вышеприведенной общепринятой методике для различной плотности фильтрующего материала.

Опыты проводились с использованием прибора Дарси, мерной колбы, весов, секундомера.

Коэффициент фильтрации определялся по формуле (2).

По результатам опытов были установлены численные значения  $K_{\phi}$ , получены графические и аналитические зависимости.

Опытные данные хорошо аппроксимируют зависимостью

$$K_{\phi} = \frac{0,6}{0,5 + 20\gamma_{\phi}} \quad (12)$$

Определение пористости фильтра. При определении пористости фильтра хвойная масса порционно, после взвешивания, погружалась в мерную колбу, предварительно наполненную до намеченного уровня и объема. После полного погружения каждой порции под свободный уровень воды измерялся общий  $W_{\text{общ}}$  и дополнительный  $\Delta W$  объем (уровень) воды в колбе  $W_{\text{об}}$ .

Опыты проводились с трехкратной повторностью в заданном диапазоне плотности  $\gamma_{\phi} = 0,02 - 0,25 \text{ т/м}^3$ , которая определялась по формуле:

$$\gamma_{\phi} = \frac{P_{\phi}}{W_{\phi}}, \text{ кг/м}^3, \quad (13)$$

где  $P_{\phi}$  – исходная масса хвойного материала;

$W_{\phi}$  – объем заполнения камеры фильтром.

В ходе опытов установлено, что плотность хвойной массы (частиц) без грубых древесных включений (диаметром менее 3 см) составляет  $\gamma_{\text{хв}} = 0,83 \dots 0,85 \text{ т/м}^3$ .

Пористость загрузки (фильтра) вычислялась по зависимости:

$$n = \frac{W_{\text{б}} - W_{\phi}}{W_{\text{об}}}, \quad (14)$$

где  $W_{\phi}$  – объем фильтрующего материала,  $\text{см}^3$ ;

$W_{\text{об}}$  – объем воды и фильтрующей массы,  $\text{см}^3$ .

Объем фильтра принимался равным  $W_{\phi} = W_{об} - W_{в}$ , где  $W_{в}$  — начальный объем воды в мерном сосуде.

По результатам исследований была установлена взаимосвязь  $n = f(\gamma_{\phi})$ .

Анализ опытных данных показывает, что пористость хвойного фильтра можно вычислять по формуле:

$$n = \left( 1 - 1,15 \frac{\gamma_{\phi}}{\gamma_0} \right), \quad (15)$$

где  $\gamma_{\phi}$  — плотность заполнения отстойника фильтрации материалом, кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_0$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Плотность наносов в фильтре. Плотность наносов отложившихся в фильтре определялась по вышеизложенной методике. При этом, для возможности практического использования результатов исследований полученные данные обработаны и представлены в виде безразмерных комплексов:

$$\eta_n = f(\eta_{\gamma}); \quad (16)$$

$$\eta_n = \frac{\eta_{отс}}{\eta_{\phi}}; \quad (17)$$

$$\eta_{\gamma} = \frac{\gamma_n}{\gamma_{\phi}}. \quad (18)$$

В результате обработки опытных данных получены графики  $\eta_n = f(\eta_{\gamma})$ . А также аналитические зависимости:

для песчаных наносов

$$\eta_n = 0,95 - 1,52 \operatorname{tg}(\eta_{\gamma})^{\circ}; \quad (19)$$

для глинистых взвесей

$$\eta_n = 0,9 - 1,71tg(\eta_\gamma). \quad (20)$$

Полученные графические и аналитические зависимости являются основой для дальнейшего определения гидравлических и геометрических параметров биоотстойника, для дальнейших исследований и разработки методики проектирования и расчетного обоснования объемно-фильтрующих отстойников.

**Результаты исследований дают возможность сделать следующие выводы:**

1. Аккумулирующая или сорбодерживающая способность  $\gamma_n$  отстойника зависит от плотности хвойного фильтра, физико-механических показателей наносов и температуры жидкости. Начальную плотность фильтра следует принимать в диапазоне  $\gamma_\phi = 0,045 - 0,055$  (0,05) т/м<sup>3</sup>. Для таких фильтров аккумулирующая способность может достигнуть  $\gamma_n = 0,5 - 0,6$  (0,55) т/м<sup>3</sup> при относительной плотности аккумулирующей массы  $\eta_\gamma = 0,55/0,05 = 10 - 12$ .

2. Для завершающего периода работы отстойника, т.е. при  $\eta_\gamma = 10 - 12$  остаточная пористость фильтра составляет  $\eta_n = 0,5 \dots 0,55$ .

3. Полученные данные являются методологической основой для определения физических параметров отстойника и его характеристик. Например, при  $\eta_n = 0,5$ , для илистых наносов  $\eta_{кф} = 0,2$ . Тогда начальная плотность фильтра  $\gamma_\phi = 0,05$  т/м<sup>3</sup> и начальный коэффициент фильтрации  $k_\phi = 0,32$ , а коэффициент фильтрации в конце работы отстойника будет составлять величину  $k_{ф.от.} = \eta_n \times k_\phi$ ;  $k_\phi = 0,2 \times 0,32 = 0,064$  м/с.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мелиорация и экология: аспекты рационального использования водных и земельных ресурсов сб. н. трудов, БелНИИМиВХ, Минск, 1991. – С. 200.

2. Ларьков, В. В. Полевой биоотстойник для защиты водотоков от взвешенных наносов. Сб. н. Трудов «Влияние природных и ан-



тропогенных факторов на социально-экономические проблемы» Рязанский ГМУ. г. Рязань, 2000. – С. 114-121.

3. Сооружения и способы очистки природных и сточных вод. Сб. н. т. ЛИСИ, Ленинград, 1990. – 94 с.

4. Загрязнение окружающей среды и здоровья населения. Материалы международной научно-практической конференции СГМА, Смоленск, 1994. 269 с.

5. Восстановление и охрана малых рек. Бостон – Лондон / пер. с англ; под ред. К. К. Эдельштейна. – М.: ВО. «Агропромиздат», 1989. – 312 с.

6. Ларьков, В.В. (в соавторстве). Экологический и рыбохозяйственный мониторинг существующих прудов и водохранилищ // Материалы международной научно-практической конференции. Горки: РИО БГСХА, 2001. – С. 238-242.

*УДК 627.82.(088.8)*

В.М. Ларьков (БГСХА, г. Горки)

### **ВОДОСЛИВНАЯ ПЛОТИНА С РЕШЕТЧАТЫМ ВОДОСЛИВОМ НА Р. БЫСТРАЯ (20 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ)**

Водосливная плотина облегченного типа с решетчатой сливной гранью и камерой гашения предложена и исследована в Белорусской сельскохозяйственной академии (В.М. Ларьков А.С. СССР. 1019050). Производственное внедрение конструкции осуществлено в Республике Беларусь по типовому проекту института Белгипроводхоз: "Водосбросы открытого типа на расход воды от 50 до 700 м<sup>3</sup>/с с напором 4-12 м для прудов и малых водохранилищ" (Приказ Минводхоза СССР N 431 от 31.12.1981).

Облегченная плотина новой системы используется в качестве водосброса-водоспуска водохранилищного гидроузла комплексного назначения на р. Быстрая Могилевской области (рисунки 1).

Емкость водохранилища при отметке НПУ – 2 млн. 770 тыс. м<sup>3</sup>; полезная водоотдача из водохранилища – 2 млн. 200 тыс. м<sup>3</sup>; пло-