

## КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТЫ

УДК 631.432: 631.524

### **РАСЧЕТ ФИЛЬТРА-ПОГЛОТИТЕЛЯ ЗАКРЫТОГО ТИПА ПРИ СБРОСЕ ВОДЫ ИЗ ЗАМКНУТОГО ПониЖЕНИЯ В ВОДОНОСНЫЙ ГОРИЗОНТ**

**В.Н. Тумов**, кандидат технических наук  
(Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси)

В результате неравномерной осадки торфяной залежи в процессе осушения и интенсивного сельскохозяйственного использования осушенных торфяников происходят необратимые процессы образования замкнутых понижений самых разнообразных размеров, глубин и конфигураций с различной площадью элементарных водосборов. При этом перепад отметок поверхности поля может достигать 1,5-2 м, а сама поверхность неуклонно приближается к естественной оглеенной прослойке между торфом и минеральным дном залежи, которая оказывается в зоне воздействия на нее тяжелой сельскохозяйственной техники. В результате дополнительного уплотнения эта прослойка становится практически водоупором, что вызывает периодическое образование луж в понижениях весной и в период выпадения интенсивных осадков в летний период [1].

Для предотвращения застоя воды в понижениях при реконструкции осушительной системы предусматривают планировку поверхности поля с сохранением или восстановлением плодородного слоя почвы, устройство искусственных ложбин, колодцев-поглотителей, закрытых собирателей, поглотительных колонок на дренах, сгущение дренажа, глубокое рыхление и кротование почв, устройство сбросных воронок в откосах каналов и другие мероприятия.

Однако выполнить эти мероприятия не всегда удается и не только по экономическим соображениям, а из практической невозможности их реализации, так как часто отдельные участки поля по своим отметкам находятся ниже уровня воды в каналах, осушение выполняется открытой сетью, дренаж не работает из-за неравномерной осадки дренажных линий или находится в непосредственной близости от дневной поверхности, исключая возможность выполнения глубокого рыхления и кротования, понижения удалены от каналов, что делает нецелесообразным их раскрытие и т.д.

При наличии под слабопроницаемой прослойкой мощной залежи песчаных и супесчаных грунтов представляется возможность сбрасывать поверхностную воду из замкнутых понижений в подстилающий водоносный горизонт через фильтры-поглотители закрытого типа, выполненные из хорошо фильтрующих материалов. Однако отсутствие гидравлического расчета таких поглотителей не позволяет оценить эффективность этого мероприятия и определить условия, при которых возможно их использование.



Через фильтр-поглотитель в слабопроницаемой прослойке проходит расход

$$q = k_{\phi} \frac{h_2 - h_3}{\ell_{\text{np}}} \cdot f. \quad (8)$$

При этом на входе

$$q = k_{\phi} \frac{h_1 - h_2}{\ell_{\tau}} \cdot f, \quad (9)$$

на выходе

$$q = k_{\phi} \frac{h_3 - h_4}{\ell_{\Gamma}} \cdot f. \quad (10)$$

Правомерно записать:

$$(H_1 - h_1) + (h_1 - h_2) + (h_2 - h_3) + (h_3 - h_4) + (h_4 - H_2) = H_p.$$

Подставив значения потерь напора, получим

$$q_1 \frac{\ell_n}{k_n \cdot f} + q \frac{\ell_{\tau}}{k_{\phi} \cdot f} + q \frac{\ell_{\text{np}}}{k_{\phi} \cdot f} + q \frac{\ell_{\Gamma}}{k_{\phi} \cdot f} + q_4 \frac{1}{4k_{\Gamma} \cdot \Gamma} = H_p$$

или

$$q_1 \frac{\ell_n}{k_n \cdot f} + q \frac{\ell_{\phi}}{k_{\phi} \cdot f} + q_4 \frac{1}{4k_{\Gamma} \cdot \Gamma} = H_p. \quad (11)$$

Решая совместно уравнения (2), (4) и (9), определим

$$q_1 = q \cdot \left( 1 - \frac{k_{\tau} \cdot \ell_{\tau} \cdot p}{k_{\phi} \cdot f} \right).$$

Аналогично из уравнений (5), (6) и (10)

$$q_4 = q \cdot \left( 1 - \frac{k_{\Gamma} \cdot \ell_{\Gamma} \cdot p}{k_{\phi} \cdot f} \right).$$

Подставляя значения  $q_1$  и  $q_4$  в (11), получим значение расхода, сбрасываемого через фильтр-поглотитель из понижения в водоносный горизонт:

$$q = \frac{H_p}{\frac{\ell_n}{k_n \cdot ab} \left( 1 - \frac{2k_{\tau} \ell_{\tau} a^* + b}{k_{\phi} \cdot ab} \right) + \frac{\ell_{\phi}}{k_{\phi} \cdot ab} + \frac{\pi}{4k_{\Gamma} a^* + b} \left( 1 - \frac{2k_{\Gamma} \ell_{\Gamma} a^* + b}{k_{\phi} \cdot ab} \right)}, \quad (12)$$

где  $k_n, k_{\tau}, k_{\Gamma}, k_{\phi}$  — коэффициенты фильтрации, соответственно, пахотного слоя, торфа, подстилающего грунта и фильтра, м/сут.

$f = ab$  – площадь горизонтального сечения фильтра, м<sup>2</sup>;

$p = 2(a+b)$  – периметр фильтра, м;

$$r = \frac{p}{2\pi} = \frac{a+b}{\pi} \quad \text{– приведенный радиус фильтра, м;}$$

$a$  и  $b$  – длины сторон сечения фильтра, м;

$h_1 \dots h_4$  – пьезометрические напоры в соответствующих сечениях, м.

Остальные обозначения на рисунке.

Значения периметра боковой поверхности и соответственно отношения  $p/f$  изменяются в зависимости от формы и размеров сечения фильтра. Анализ уравнения показывает, что наиболее эффективны фильтры, имеющие большую боковую поверхность при равной площади поперечного сечения, т.е. фильтры, выполненные в виде узких траншей. Однако, наименьшая ширина отрываемых траншей ограничена техническими средствами. Обычно для устройства фильтров-поглотителей используют одноковшовые экскаваторы ЭО-2621 на базе колесных тракторов как наиболее мобильное средство, к тому же оснащенное бульдозерным оборудованием. Этот экскаватор может отрывать траншеи шириной не менее 0,8 м.

Для повышения эффективности на лугах и пастбищах целесообразно устраивать фильтры-поглотители с фильтрующей засыпкой до дневной поверхности.

Расчетная формула в этом случае, полученная аналогично (12), имеет вид

$$q^r = \frac{H_p}{\frac{\ell_n + \ell_\tau}{k_\phi ab + 2(k_n \ell_n + k_\tau \ell_\tau)(a+b)} + \frac{\ell_{np} + \ell_r}{k_\phi ab} + \frac{\pi}{4k_r(a+b)} \left( 1 - \frac{k_r \ell_r a + b}{k_\phi ab} \right)}, \quad \text{м}^3 / \text{сут.} \quad (13)$$

Значения  $\ell_n$  и  $k_n$  можно принимать по табл. 1[3]

**Таблица 1. Мощность  $\ell_n$  (м) и водопроницаемость  $k_n$  (м/сут) пахотного слоя**

Почва	$\ell_n$	$k_n$ при использовании земель		
		сенокосы	зерновые	пропашные
Торф слаборазложившийся (до 20%)	0,3	1,5	2,5	4,0
Торф среднеразложившийся (20-45%)	0,3	1,0	2,0	3,5
Торф сильноразложившийся (более 45%)	0,3	0,7	1,5	2,0

Объем стока дождевых паводков расчетной обеспеченности ( $W$ ) определяют по зависимости [4]:

$$W = 0,001\sigma \cdot h_{10\%} F_n, \text{ м}^3, \quad (14)$$

где  $\sigma$  – коэффициент поверхностного стока;

$h_{10\%}$  – слой суточных осадков 10 %-ной обеспеченности, мм;

$F_n$  – площадь водосбора понижения, м<sup>2</sup>.

Для определения площади водосбора понижения используют планы осушительной сети (М 1:2000). Водосборы замкнутых понижений должны быть оконтурены с определением среднего уклона, глубины и водосборной площади планиметрированием.

Для каждого замкнутого понижения строятся топографические характеристики  $W = f(h_B)$  и  $\omega = f(h_B)$ , где  $h_B$  – глубина воды, отсчитываемая от наинизшей отметки понижения. Объем воды ( $W$ ) и соответствующую ему площадь затопления ( $\omega$ ) определяют по указанным характеристикам до отметки дна порога, через который происходит выход воды из замкнутого понижения, т.е. до значений  $h_B = h_{max}$ .

Для построения топографических характеристик можно использовать зависимости

$$W = \frac{1}{3} h_B \left[ \pi \left( \sqrt{\frac{F_D}{\pi} + \frac{h_B}{i}} \right)^2 + F_D + \sqrt{\pi \left( \sqrt{\frac{F_D}{\pi} + \frac{h_B}{i}} \right)^2 \cdot F_D} \right], \quad (15)$$

$$\omega = \pi \left( \sqrt{\frac{F_D}{\pi} + \frac{h_B}{i}} \right)^2, \quad (16)$$

где  $i$  – средний уклон понижения;  
 $F_D$  – площадь понижения по дну, м<sup>2</sup>.

$$F_D = \pi \cdot \left( \sqrt{\frac{F_n}{\pi} - \frac{h_{max}}{i}} \right)^2. \quad (17)$$

Слой суточных осадков 10 %-ной обеспеченности определяется по агрометеорологическим ежегодникам ближайшей метеостанции. По территории республики он изменяется от 49 до 66 мм.

Коэффициент поверхностного стока при отсутствии фактических данных принимается по СНиП 2.06.03-85 [5] (табл. 2).

**Таблица 2. Коэффициент поверхностного стока**

Водопроницаемость грунтов	Коэффициент фильтрации, м/сут	Коэффициент поверхностного стока при уклоне водосборной площади		
		слабом (менее 0,01)	среднем (0,01-0,05)	большом (св. 0,05)
Хорошая	2,0	0,1-0,2	0,15-0,25	0,2-0,3
Средняя	1,0	0,15-0,25	0,2-0,3	0,25-0,4
Ниже средней	0,5	0,2-0,3	0,25-0,45	0,35-0,6
Слабая	0,1	0,25-0,4	0,3-0,6	0,5-0,75
Мерзлый грунт	-	0,3-0,6	0,4-0,75	0,8-0,95

Полученный объем воды расчетной обеспеченности  $W$  сравнивают с объемом замкнутого понижения  $W_n$ .

$$W_n = \frac{1}{3} h_{max} \left( F_n + F_D + \sqrt{F_n \cdot F_D} \right). \quad (18)$$

Если объем стока расчетной обеспеченности  $W$  превышает или равен объему понижения  $W_{п}$ , то за расчетный объем  $W_p$  принимают объем понижения, т.е. при  $W \geq W_{п}$ ,  $W_p = W_{п}$ . В этом случае расчетный слой воды  $h_b$  принимается равным  $h_{max}$ . Если же объем стока расчетной обеспеченности  $W$  заполняет понижение частично, т.е.  $W < W_{п}$ , за расчетный объем принимают эту величину, т.е.  $W_p = W$  и расчетный слой воды  $h_b$  с соответствующей ему площадью затопления  $\omega$ .

Расчетный расход воды из понижения  $q_p$ , при котором обеспечивается своевременный отвод поверхностной воды ( $m^3/сут$ ),

$$q_p = \frac{W_p}{t}, \quad (19)$$

где  $t$  – продолжительность расчетного периода отвода поверхностных вод, сут.

В соответствии со СНиП 2.06.03-85 отвод поверхностных вод в период летне-осенних дождей должен обеспечиваться:

для зерновых культур – 0,5 сут;

для овощей, силосных культур, корнеплодов – 0,8 сут;

для многолетних трав – 1,0 сут.

Расход воды ( $m^3/сут$ ) через слабопроницаемую прослойку [6]

$$q_{np} = \frac{H_p^{\infty}}{\frac{\ell_n}{k_n} + \frac{\ell_{\tau}}{k_{\tau}} + \frac{\ell_{np}}{k_{np}}}. \quad (20)$$

Расход воды ( $m^3/сут$ ), который должен быть обеспечен фильтром-поглопителем,

$$q = q_p - q_{np}. \quad (21)$$

Подставляя значения  $q$  в расчетные формулы (12) или (13), задаваясь формой фильтра-поглопителя и размером одной из сторон периметра, находим значение второй стороны. Подбор параметра не представляет сложности при использовании ПЭВМ.

Расчетная площадь фильтра

$$f = ab, m^2. \quad (22)$$

Объем фильтрующего материала

$$V_{\phi} = f \cdot \ell_{\phi}, m^3. \quad (23)$$

Для оценки эффективности использования фильтра-поглопителя при сбросе поверхностных вод из закрытого понижения в нижний водоносный горизонт рассмотрим пример расчета понижения с водосборной площадью  $F_{п} = 10000 m^2$ , максимальной глубиной  $h_{max} = 0,4 m$  и средним уклоном  $i = 0,008$  применительно к условиям ПОСМЗил (Лунинецкий район Брестской области). Участок расположен на торфяных почвах со степенью разложения 40-45 % и используется под зерновые культуры. Мощность торфяной залежи 0,5 м, коэффициент фильтрации торфа  $k_{\tau} = 0,8 m/сут$ . Слой суточных осадков 10%-ной обеспеченности  $h_{10} = 58 mm$ . Под торфом залегает слабопроницаемая прослойка мощностью  $\ell_{np} = 0,1 m$  с  $k_{np} = 0,01 m/сут$ . Подстилающий грунт – мелкозернистый песок

( $k_r = 8$  м/сут). В качестве фильтрующего материала используются тюки кнопса (отходы производства искусственного меха ОАО «БелФА») размером  $0,5 \times 0,8 \times 1,0$  м с коэффициентом фильтрации  $k_{\phi} = 16$  м/сут. Фильтр заглублен под пахотный горизонт на глубину  $\ell_n = 0,3$  м ( $k_n = 2,0$  м/сут) и в водоносный горизонт  $\ell_r = 0,2$  м. Длина фильтра по вертикали  $\ell_{\phi} = 0,5$  м. Ширина отрываемой траншеи по размеру тюка  $a = 0,8$  м. УГВ на прилегающей территории залегают на глубине  $0,95$  м.

### Расчет

1. Определим объем стока дождевых паводков расчетной обеспеченности при коэффициенте поверхностного стока  $\sigma = 0,15$  (табл. 2):

$$W = 0,001 \sigma \cdot h_{10} \cdot F_n = 0,001 \cdot 0,15 \cdot 10000 = 87 \text{ м}^3.$$

2. Объем замкнутого понижения

$$W_n = \frac{1}{3} h_{\max} \cdot F_n + F_d + \sqrt{F_n \cdot F_d} = \frac{1}{3} \cdot 0,4 \cdot 10000 + 130 + \sqrt{10000 \cdot 130} = 1503 \text{ м}^3.$$

$$\text{где } F_d = \pi \left( \sqrt{\frac{F_n}{\pi} - \frac{h_{\max}}{i}} \right)^2 = 3,14 \left( \sqrt{\frac{10000}{3,14} - \frac{0,4}{0,008}} \right)^2 = 130 \text{ м}^2.$$

3. Поскольку  $W < W_n$  в качестве расчетного принимаем  $W_p = W = 87 \text{ м}^3$  и по зависимостям (15) и (16) определяем соответствующие ему значения  $h_b = 0,12$  м и площадь затопления  $\omega = 1520 \text{ м}^2$ .

4. Расчетный напор

$$H_p = H_{np} - h_{\max} + 2/3 h_b = 0,95 - 0,4 + 2/3 \cdot 0,12 = 0,63 \text{ м}.$$

5. Расчетный расход воды из понижения  $q_p$ , при котором обеспечивается своевременный отвод поверхностной воды,

$$q_p = \frac{W_p}{t} = \frac{87}{0,5} = 174 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

(для зерновых культур  $t = 0,5$  сут).

6. Расход воды через слабопроницаемую прослойку:

$$q_{np} = \frac{H_p^3}{\frac{\ell_n}{k_n} + \frac{\ell_r}{k_r} + \frac{\ell_{np}}{k_{np}}} = \frac{0,63^3 \cdot 1520}{\frac{0,3}{2} + \frac{0,2}{0,8} + \frac{0,1}{0,01}} = 92,6 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

7. Расход воды, который должен быть обеспечен фильтром-поглотителем:

$$q = q_p - q_{np} = 174 - 92,6 = 81,4 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

8. Подставляя значения « $q$ » и « $a$ » в уравнение (12), получим значение  $b = 37,8$  м (принимаем  $b = 38$  м).

9. Расчетная площадь фильтра:

$$f = a \cdot b = 0,8 \cdot 38 = 30,4 \text{ м}^2.$$

10. Объем фильтрующего материала

$$V_{\phi} = f \cdot \ell_{\phi} = 30,4 \cdot 0,5 = 15,2 \text{ м}^3.$$

**Литература**

1. Лихацевич А.П., Мееровский А.С., Вахонин Н.К. Мелиорация земель в Беларуси. – Мн.: БелНИИМил, 2001. – 308 с.
2. Лундин К.П. Водные свойства торфяной залежи. – Мн.: Урожай, 1964. – 211 с.
3. Сельскохозяйственные гидротехнические мелиорации: Учеб. для сельскохозяйственных высших учебных заведений/ Г.И. Афанасик, М.Г. Голченко, А.П. Лихацевич, Г.И. Михайлов. – Под ред. А.П. Лихацевича. – Мн.: Тэхналогія, 2000. – 436 с.
4. Рекомендации по проектированию осушительных и осушительно-увлажнительных систем в северном и северо-западном районах Нечерноземной зоны РСФСР. – Л.: СевНИИГиМ, 1987. – 187 с.
5. Мелиоративные системы и сооружения. / СНиП 2.06.03 – 85. – М., 1986. – 57 с.
6. Титов В.Н. Влияние конструкции дренажной засыпки на эффективность дрены в слабопроницаемых грунтах // Мелиорация переувлажненных земель. Сб. науч. тр. БелНИИМил. Т. XLVI. – 1999. – С. 133-144.

**Резюме**

Приведена методика расчета фильтров-поглотителей, выполненных из хорошо фильтрующих материалов, при сбросе поверхностной воды из замкнутых понижений через слабоводопроницаемую прослойку в подстилающий водоносный горизонт.

**Ключевые слова:** фильтр-поглотитель, замкнутое понижение, водосборная площадь, коэффициент фильтрации, напор, водоносный горизонт, слабоводопроницаемая прослойка.

**Summary**

**Titov V. Analysis of the closed-type filter-absorber during water discharge from closed lowland into water-bearing horizon**

The procedure of analysis of the filters-absorbers fabricated of good-filtering mediums during water discharge from closed lowland through low water-permeable interlayer into underlying water-bearing horizon is presented.

**Keywords:** filter-absorber, closed lowland, water-accumulating area, filtration coefficient, head, water-bearing horizon, low water-permeable interlayer.