

Ю.М. КОСИЧЕНКО

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», г. Новочеркасск, Российская Федерация

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ОБЛИЦОВОК С ПОЛИМЕРНЫМИ ГЕОМЕМБРАНАМИ

Рассматривается методика расчета водопроницаемости основных типов облицовок каналов с использованием геосинтетических материалов – бетонопленочных и грунтопленочных с полимерной геомембраной и геотекстилем. При длительной эксплуатации оросительных каналов необходимо проводить количественную оценку водопроницаемости облицовок, по результатам которой устанавливаются потери на фильтрацию и определяется расчетный КПД. Современные противοфильтрационные облицовки каналов из геосинтетических материалов способны обеспечить высокий технический КПД и долговечность облицовки. На базе ранее полученных теоретических решений через единичные повреждения разработана универсальная методика, которая может быть использована для расчета водопроницаемости основных типов облицовок с использованием геомембран (бетонопленочных и грунтопленочных). Приведены расчетные схемы через грунтопленочную и бетонопленочную облицовку и расчетные зависимости для основных расчетных случаев при наличии щелей и отверстий в экране на сильнопроницаемом основании и с учетом влияния проницаемости подстилающего основания. Влияние проницаемости основания учитывается в расчетах пьезометрическим напором h_1 в месте повреждения экрана из геомембраны, который представляет собой остаточный напор между облицовкой и грунтовым основанием. Остаточный напор может иметь как положительный знак при избыточном давлении, так и отрицательный знак при образовании вакуумметрического давления. Расчетные формулы для определения пьезометрического давления в месте повреждений находят, используя уравнение неразрывности фильтрационного потока, проходящего через дефекты и повреждения облицовки. На основании разработанной методики расчета водопроницаемости рассмотрен пример расчета, который свидетельствует о высокой эффективности облицовок с использованием геомембран (бетонопленочных и грунтопленочных), а для бетонной облицовки условие эффективности облицовки не выполняется.

Методика расчета, водопроницаемость, коэффициент фильтрации, полимерная геомембрана, бетонопленочная и грунтопленочная облицовка.

Введение. Необходимость расчета водопроницаемости противοфильтрационных облицовок оросительных каналов обуславливается длительным сроком их эксплуатации, достигающим более 50 лет, и значительным снижением их эффективности и эксплуатационной надежности, вызванным деформациями, повреждениями и отказами облицовок. Следствием этих причин является снижение КПД каналов и долговечности (срока службы) облицовок. Поэтому важным

этапом в период длительной эксплуатации оросительных каналов может служить проведение количественной оценки водопроницаемости облицовок. На основании проведенных количественных оценок водопроницаемости облицовок должно приниматься решение о проведении ремонта (текущего, капитального) или реконструкции участков каналов.

Для количественной оценки водопроницаемости облицовок необходимы

определение осредненных коэффициентов фильтрации облицовок и сравнение их с допустимыми значениями, учитывающими нормативное значение КПД каналов.

Современные противофильтрационные облицовки каналов должны обладать высокой эффективностью и надежностью. В соответствии с этими требованиями они должны максимально снижать потери на фильтрацию и исключать подтопление и затопление приканальных территорий грунтовыми водами. Именно таким требованиям могут отвечать противофильтрационные облицовки с использованием геосинтетических материалов – бетонопленочные и грунтопленочные облицовки с полимерными геомембранами, которые способны обеспечить КПД до 0,97-0,98, а долговечность (срок службы) – до 75 лет и более.

Вопросами исследований эффективности и водопроницаемости облицовок и экранов, раньше из полиэтиленовых пленок, а сейчас из геосинтетических материалов (геомембран, бентоматов), занимались многие ученые, среди которых – В.П. Недрига [1], А.Г. Алимов [2], Ю.М. Косиченко [3, 5, 9], А.В. Ищенко [4], О.А. Баев [7, 8], а также зарубежные ученые G.J. Giroud, N.A. Touze-Foltzi др.

Несмотря на то, что ранее были разработаны основы теории водопроницаемости и надежности облицовок каналов, до последнего времени не была создана обобщающая методика расчета водопроницаемости и надежности облицовок из полимерных материалов, и только в 2016-2019 гг. была разработана универсальная методика, представленная в настоящей статье.

Материалы и методы. На базе ранее полученных теоретических решений через единичные повреждения [5-7] разработана универсальная методика, которая может быть использована для расчета водопроницаемости основных типов противофильтрационных облицовок и экранов (бетонопленочных и грунтопленочных).

В общем случае расчет водопроницаемости противофильтрационных облицовок и экранов должен проводиться из условия неразрывности фильтрационного потока через облицовку (экран) как равенство общего расхода фильтрации через облицовку канала и суммы единичных расходов фильтрации через отдельные повреждения

и дефекты полимерного экрана на заданной площади облицовки:

$$Q_{\text{обл}} = \sum_{i=1}^n q_{\text{пов}_i}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{обл}}$ – общий расход фильтрации облицовки на площади F_o , м³/сут.; $q_{\text{пов}_i}$ – единичный фильтрационный расход через повреждение облицовки, м³/сут.

Противофильтрационные облицовки и экраны с использованием современных геосинтетических материалов представляют собой сложные в фильтрационном отношении неоднородные системы, так как фильтрация через них происходит не сплошным фронтом, а лишь локально, через повреждения и дефекты, как в полимерном противофильтрационном элементе, так и в защитном покрытии. Поскольку противофильтрационные облицовки и экраны представляют собой неоднородные системы для расчета их водопроницаемости, следует использовать условный осредненный коэффициент фильтрации облицовки $k'_{\text{обл}}$, приведенный к однородному по проницаемости материалу, рассчитываемый по формуле [5]:

$$k'_{\text{обл}} = \frac{Q_{\text{обл}} \cdot \delta_o}{(h_o + \delta_o) \cdot F_o}, \quad (2)$$

где δ_o – толщина облицовки с защитным покрытием, м; h_o – глубина (напор) в канале, м; F_o – площадь облицовки, м².

Отсюда для расчета водопроницаемости облицовки и экранов необходимо знать единичные расходы через отдельные повреждения и дефекты противофильтрационного элемента.

Результаты и обсуждение. Воспользовавшись ранее полученными теоретическими формулами, найдем расчетные зависимости фильтрационного расхода через отдельные повреждения в виде щелей и отверстий. Тогда, согласно формулам (1) и (2), можно получить расчетные зависимости для определения осредненных коэффициентов фильтрации полимерных геомембран.

На рисунке 1 представлена расчетная схема фильтрации через грунто-пленочный экран с полимерной геомембраной, а на рисунке 2 – расчетная схема фильтрации через бетонопленочную облицовку с геомембраной.

Расчетные зависимости для основных расчетных случаев даны в таблице.

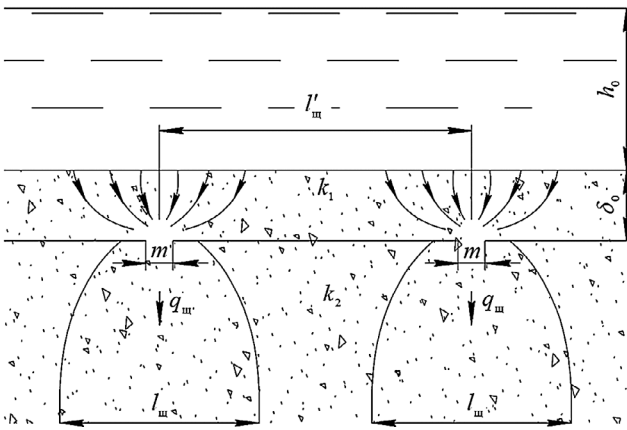


Рис. 1. Расчетная схема фильтрации через грунтопленочный экран:

k_1 и k_2 – коэффициенты фильтрации соответственно защитного покрытия из грунта и бетона,

а также подстилающего основания, м/сут;

m и $l'_{\text{щ}}$ – ширина и длина щели в геомембране, м;

$l'_{\text{щ}}$ – осредненное расстояние между щелями, м;

$q_{\text{щ}}$ – удельный расход через повреждение в виде щели, м²/сут.;

δ_0 – толщина облицовки, м;

h_0 – глубина (напор) в канале, м

Для определения общего расхода фильтрации через облицовку канала можно использовать следующую формулу:

$$Q_{\text{обл}} = k'_{\text{обл}} = \frac{h_0 + \delta_0 - h_1}{\delta_0} \cdot (b + 2h_0 \sqrt{1 + m^2}) \cdot L_{\text{к}}, \quad (10)$$

где $k'_{\text{обл}}$ – расчетный осредненный коэффициент фильтрации облицовки, м/сут.; b – ширина канала по дну, м; h_1 – пьезометрический напор в месте повреждения экрана, м; $L_{\text{к}}$ – длина канала, м; \circ – коэффициент заложения откосов канала.

Пьезометрический напор в месте повреждения экрана из геомембраны h_1 вычисляется как осредненный по среднестатистическим размерам повреждений \bar{m} или \bar{r}_0 .

При наличии в полимерном экране одновременно как щелей, так и отверстий, расчет производится по указанным выше зависимостям, при суммировании их по отдельным площадям, относящимся к тому или иному виду повреждений.

Для расчета водопроницаемости бетонопленочных облицовок при условии плотного прилегания защитного покрытия к полимерному экрану могут быть использованы зависимости, приведенные в таблице, с учетом применения в защитном покрытии облицовки вместо коэффициента фильтрации k_1 коэффициента фильтрации бетона $k_{\text{бет}}$.

В случае бетонопленочных облицовок (сборных или монолитных) с возможным неплотным прилеганием защитного покрытия к полимерному экрану примем следующую расчетную фильтрационную схему (рис. 2). Под действием напора воды в канале происходит движение фильтрационного потока через трещины и разрушенные швы в бетонном покрытии, а также через сам бетон в пространстве между облицовкой и геомембраной, и далее – по ходам фильтрации между подошвой бетонной облицовки и геомембраной, которые обычно образуются по причине неравномерной просадки грунта основания, к повреждениям в полимерной геомембране. При этом между бетонной облицовкой и полимерной геомембраной под трещинами облицовки и в местах повреждений полимерной геомембраны устанавливается пьезометрический напор h_1 . Фильтрацией через сам бетон ненарушенной структуры ввиду малости можно пренебречь.

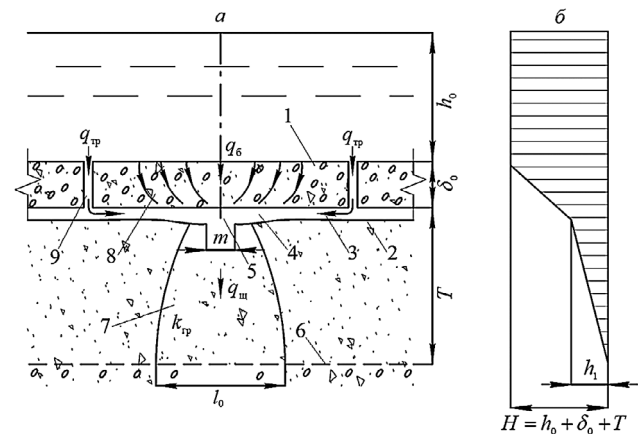


Рис. 2. Расчетная схема фильтрации через бетонопленочную облицовку (а):

1 – бетонное покрытие; 2 – пленочный экран;

3 – свободные ходы фильтрации;

4 – пустоты, образованные просадкой основания;

5 – повреждение пленочного экрана;

6 – граница более проницаемого слоя грунта;

7 – зона фильтрации под экраном;

8 – зона фильтрации через бетон облицовки;

9 – трещины в бетоне;

l_0 – ориентировочная ширина растекания фильтрационного потока под экраном, м;

h_1 – пьезометрический напор в месте повреждения, м;

T – мощность подстилающего слоя, м;

q_6 – удельный расход через бетонную облицовку, м²/сут;

$k_{\text{гр}}$ – коэффициент фильтрации грунта основания, м/сут.

Эпюра пьезометрических напоров по оси повреждения пленочного экрана (б)

Расчетные зависимости для основных расчетных случаев

Расчетная схема	Расчетные формулы	Условия применения
1. При наличии щелей в экране на сильнопроницаемом основании	$k'_{обл} = \pi \cdot k_1 \cdot \frac{\delta_o}{F_o} \cdot \frac{\bar{l}_{щ} \cdot n_{щ}}{\ln(8\delta_o/\pi\bar{m})}, \quad (3)$ <p>где k_1 – коэффициент фильтрации защитного покрытия, м/сут; δ_o – толщина защитного покрытия, м; $\bar{l}_{щ}$ – средняя длина щели экрана, м; $n_{щ}$ – количество щелей в геомембране; F_o – площадь облицовки, м².</p>	$k_2/k_1 \geq 10$
2. При наличии щелей в экране с учетом напорно-безнапорной фильтрации в основании	$k'_{обл} = \frac{\pi \cdot k_2 \cdot \delta_o}{(h_0 + \delta_o) \cdot F_o} \cdot \frac{(h_1 + H_k) \cdot \bar{l}_{щ} \cdot n_{щ}}{Arsh(1/\sqrt{\alpha - 1})}, \quad (4)$ $h_1 = \frac{\sigma(h_0 + \delta_o) \cdot Arsh(1/\sqrt{\alpha - 1}) - H_k \ln(16\delta_o/\pi\bar{m})}{\sigma \cdot Arsh(1/\sqrt{\alpha - 1}) + \ln(16\delta_o/\pi\bar{m})}, \quad (5)$ $\alpha \rightarrow F_1(\alpha) = \frac{\bar{m}}{h_1 + H_k}; \sigma = k_1/k_2, \quad (6)$ <p>где k_2 – коэффициент фильтрации основания облицовки, м/сут; h_1 – пьезометрический напор в щели экрана, м; H_k – капиллярный вакуум грунта основания, м; α – параметр, определяемый по таблице [3, табл. 7.7].</p>	$k_2/k_1 < 10$
3. При наличии отверстий в экране на сильнопроницаемом основании	$k'_{обл} = \pi^2 \cdot k_1 \cdot \frac{\delta_o}{F_o} \cdot \frac{\bar{r}_o \cdot n_o}{\ln(8\delta_o/\pi\bar{r}_o)}, \quad (7)$ <p>где k_1 – коэффициент фильтрации защитного покрытия, м/сут; \bar{r}_o – среднее значение радиуса отверстия экрана, м; n_o – количество отверстий; F_o – площадь облицовки, м²; δ_o – толщина защитного покрытия, м.</p>	$k_2/k_1 \geq 10$
4. При наличии отверстий в экране с учетом проницаемости основания	$k'_{обл} = \frac{\pi^2 \cdot k_1 \cdot \delta_o}{(h_0 + \delta_o) \cdot F_o} \cdot \frac{(h_0 + \delta_o + h_1) \cdot n_o}{\ln(8\delta_o/\pi\bar{r}_o)}, \quad (8)$ $h_1 = \frac{\pi^2 \sigma (h_0 + \delta_o) - 4H_k \ln(8\delta_o/\pi\bar{r}_o)}{\pi^2 \cdot \sigma + 4 \ln(8\delta_o/\pi\bar{r}_o)}, \quad (9)$ $\sigma = k_1/k_2$ <p>где k_1 – коэффициент фильтрации защитного покрытия, м/сут; h_1 – пьезометрический напор в отверстии экрана, м; H_k – капиллярный вакуум грунта в основании, м; h_0 – глубина (напор) воды в канале, м; δ_o – толщина защитного покрытия, м.</p>	$k_2/k_1 < 10$

С целью обобщения расчетной схемы предполагаем, что число трещин в бетонной облицовке n_1 и число повреждений в полимерном экране из n_2 отличаются друг от друга ($n_1 \leq n_2$).

Используя уравнение неразрывности фильтрационного потока для представленной схемы и известные зависимости через трещины облицовки [8], а также полученные нами аналитические зависимости через повреждения полимерного экрана из геомембраны, найдем следующие расчетные формулы расхода фильтрационного потока через бетоноплочную облицовку:

$$Q_{обл} = (A + B) \cdot (h_0 + \delta_o - h_1), \quad (11)$$

или

$$Q_{обл} = C \cdot (h_1 + T); \quad (12)$$

$$h_1 = \frac{A(h_0 + \delta_o) + B(h_0 - \delta_o) - CT}{A + B + C}, \quad (13)$$

где A, B, C определяются по формулам, представленным в работе [3].

Согласно выражениям (11), (12) и (2) коэффициент фильтрации бетоноплочной облицовки определяется по зависимостям:

$$k'_{обл} = \frac{\delta_o}{F_o} \cdot \frac{(h_0 + \delta_o - h_1)}{(h_0 + \delta_o)} \cdot (A + B), \quad (14)$$

или

$$k'_{обл} = \frac{\delta_0}{F_0} \cdot \frac{(h_0 + T)}{(h_0 + \delta_0)} \quad (15)$$

Критерии гладких трещин и трещин с шероховатыми стенками могут быть приняты по Г.М. Ломизе – по критическому градиенту $J_{кр}$ или характерному и критическому числу Рейнольдса и $Re_{кр}$ [8].

Зависимость для параметра A справедлива для условий ламинарного движения потока (при $J < J_{кр}$ или $N_1 < Re_{кр}$).

В случае неограниченной мощности водопроницаемого основания ($T = \infty$) расчетные зависимости для бетоноплочной облицовки имеют вид:

$$Q_{обл} = \frac{\pi k_0 n_2 (h_1 + H_{кр}) \cdot \bar{l}_{щ}}{Arsh(1/\sqrt{\alpha - 1})}; \quad (16)$$

$$k'_{обл} = \frac{\pi k_0 n_2 (h_1 + H_{кр}) \cdot \delta_0 \cdot \bar{l}_{щ}}{(h_0 + \delta_0) F_0 Arsh(1/\sqrt{\alpha - 1})}; \quad (17)$$

$$h_1 = \frac{(h_0 + \delta_0) - B \cdot H_{кр}}{A + B}; \quad (18)$$

$$A = [\gamma \cdot n_1 \cdot \bar{\delta}_{тр} \cdot \bar{l}_{тр} + 12\mu \cdot k_{бет} \cdot n_2 \cdot h_0 (\bar{l}_{щ} + h_0)] \times \\ \times Arsh(1/\sqrt{\alpha - 1});$$

$$B = 12\mu \cdot \delta_0 \cdot n_2 \cdot k_0 \cdot \bar{l}_{щ},$$

где k_0 – коэффициент фильтрации грунта, подстилающего облицовку основания, м/сут.; n_1 и n_2 – число повреждений в бетонном покрытии и полимерном экране; h_1 – пьезометрический напор в месте повреждения полимерного экрана, м.

Для вычисления осредненных коэффициентов фильтрации грунтоплочных и бетоноплочных облицовок по вышеперечисленным формулам разработаны программы для ЭВМ [8, 9].

Рассмотрим пример расчета.

Требуется выполнить расчет водопроницаемости бетоноплочной и грунтоплочной облицовки с полимерной геомембраной и сравнить с бетонной облицовкой следующих исходных данных: $h_0 = 3,0$ м, $\delta_0 = 0,1$ м (для бетоноплочной облицовки), $b = 5$ м, $m_0 = 2$, $k_1 = 0,001$ м/сут., $k_2 = 1,0$ м/сут., $H_{кр} = 0,5$ м, $m = 0,003$ м, $\bar{l}_{щ} = 1,0$ м, $\delta_0 = 0,5$ м (для грунтоплочной облицовки), $n = 10$, $L_{кр} = 10000$ м, $Q = 25$ м³/с, $\chi_{кр} = 15$ м.

Расчет:

1. Определяем осредненный коэффициент фильтрации бетоноплочной

облицовки по формуле (при $n = 10$, $m = 0,003$ м, $\bar{l}_{щ} = 1,0$ м):

$$k'_{обл} = \frac{\pi k_1 n_2 (h_0 + \delta_0 - h_1) \cdot \delta_0 \cdot \bar{l}_{щ}}{(h_0 + \delta_0) L_{кр} \ln(16\delta_0 / \pi m) \cdot \chi_{кр}} = \\ = \frac{3,14 \cdot 0,001 \cdot 10 \cdot (3,0 + 0,1 - 1,66) \cdot 0,1 \cdot 1,0}{(1,0 + 0,1) \cdot 10000 \cdot \ln(16 \cdot 0,1 / 3,14 \cdot 0,003) \cdot 15} = \\ = 0,53 \cdot 10^{-11} \text{ м/сут.} = 4,58 \cdot 10^{-7} = 0,46 \cdot 10^{-6} \text{ м/с,}$$

где $h_1 = 1,66$ м вычисляем по уравнению:

$$\bar{m} = m / (h_0 + \delta_0) = F_1(\alpha) = \\ = 0,00153 \rightarrow \alpha = 1,0000008.$$

2. Определяем осредненный коэффициент фильтрации грунтоплочной облицовки по формуле (при $r_0 = 0,001$, $n_2 = 10$, $k_1 = 0,001$ м/сут., $\delta_0 = 0,5$ м):

$$k'_{обл} = 2\pi^2 k_1 \frac{\delta_0 \cdot (h_0 + \delta_0 - h_1) \cdot n \cdot r_0}{(h_0 + \delta_0) L_{кр} \cdot \chi_{кр} \cdot \ln(8\delta_0 / \pi r_0)} = 2 \cdot 3,14^2 \cdot 1,0 \times \\ \times \frac{0,5 \cdot (3,0 + 0,5 - 2,85) \cdot 10 \cdot 0,001}{(3,0 + 0,5) \cdot 10000 \cdot 15 \cdot \ln(8 \cdot 0,5 / 3,14 \cdot 0,0005)} = \\ = 1,53 \cdot 10^{-11} \text{ м/сут.} = 1,32 \cdot 10^{-6} \text{ м/с.}$$

3. Определяем коэффициент фильтрации бетонной облицовки по формуле (при $n = 300$):

$$k'_{обл} = \frac{\rho}{12 \cdot \mu \cdot L_{кр} \cdot \chi_{кр}} \cdot \frac{n \cdot \bar{\delta}_{тр}^3 \cdot \bar{l}_{тр}}{1 + 6 \left(\frac{e}{\bar{\delta}_{тр}} \right)^{1,5}} = \\ = \frac{1000}{12 \cdot 0,00131 \cdot 10000 \cdot 15} \cdot \frac{300 \cdot 0,01^3 \cdot 1,0}{1 + 6 \left(\frac{0,003}{0,01} \right)^{1,5}} = \\ = 6,39 \cdot 10^{-5} \text{ м/с.}$$

4. Вычисляем допускаемый коэффициент фильтрации облицовки канала по формуле, где нормативное значение КПД согласно СП.100.13330.2016 принимается равным $\eta_{н} = 0,90$, или принимаем $Q_{\phi} = 0,85 \cdot Q$:

$$k'_{обл, доп} = \frac{0,085 \cdot Q \cdot \delta_0}{(b + 2h_0 \sqrt{1 + m_0^2}) \cdot (h_0 + \delta_0) L_{кр}} = \\ = \frac{0,085 \cdot 25 \cdot 0,5}{(5 + 2 \cdot 3 \sqrt{1 + 2^2}) \cdot (3 + 0,5) \cdot 10000} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ м/с,}$$

где Q_{ϕ} – потери на фильтрацию из канала, м³/с; Q – расчетный расход канала, м³/с.

5. Сравниваем значения расчетных коэффициентов фильтрации рассмотренных типов облицовок (бетонопленочной, грунтопленочной и бетонной) с допусаемым коэффициентом, убеждаемся в том, что

а) для бетонопленочной облицовки условие эффективности соблюдается:

$$k'_{\text{обл}} < k'_{\text{обл.доп}} (0,46 \cdot 10^{-6} < 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ м/с});$$

б) для грунтопленочной облицовки условие эффективности выполняется:

$$k'_{\text{обл}} < k'_{\text{обл.доп}} (1,32 \cdot 10^{-6} < 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ м/с});$$

в) для бетонной облицовки условие эффективности не выполняется:

$$k'_{\text{обл}} > k'_{\text{обл.доп}} (6,39 \cdot 10^{-5} > 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}).$$

6. Общий расход фильтрации через облицовку канала вычисляем по формуле (10) [10]:

а) для бетонопленочной облицовки ($h_1 = 1,66 \text{ м}$):

$$\begin{aligned} Q_{\text{обл}} &= k'_{\text{обл}} \cdot \frac{h_0 + \delta_0 - h_1}{\delta_0} \cdot \chi_k \cdot L_k = \\ &= 0,53 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{3,0 + 0,1 - 1,66}{0,1} \cdot 15 \cdot 10000 = \\ &= 1,15 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}, \end{aligned}$$

где χ_k – смоченный периметр канала.

Здесь пьезометрический напор в повреждении экрана h_1 определялся по формуле (9);

б) для грунтопленочной облицовки ($h_1 = 2,85 \text{ м}$):

$$\begin{aligned} Q_{\text{обл}} &= 2,30 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{3,0 + 0,5 - 2,85}{0,5} \cdot 15 \cdot 10000 = \\ &= 4,48 \cdot 10^{-6} = 0,0387 \text{ м}^3/\text{с}. \end{aligned}$$

Выводы

1. Ввиду того, что противофильтрационные облицовки с использованием полимерных геомембран представляют собой неоднородные системы для расчета их водопроницаемости, применяют условный осредненный коэффициент фильтрации облицовки, приведенный к однородному по проницаемости материалу.

2. Для бетонопленочных облицовок (сборных и монолитных с возможным

неплотным прилеганием защитного покрытия к полимерному экрану) разработана расчетная фильтрационная схема, согласно которой под действием напора воды в канале происходит движение фильтрационного потока через трещины и разрушенные швы в бетонном покрытии по свободным ходам фильтрации к повреждениям в полимерном экране, где устанавливается пьезометрический напор h_1 .

3. С использованием уравнения неразрывности фильтрационного потока и найденных теоретических зависимостей расхода через повреждения полимерного экрана получены расчетные зависимости осредненного коэффициента фильтрации облицовки для основных расчетных схем.

4. Приведенные расчеты осредненного коэффициента фильтрации бетонопленочной и грунтопленочной облицовок с полимерной геомембраной показывают, что они отвечают требованиям их эффективности по сравнению с допусаемым значением, а для бетонных облицовок – превышают эти требования.

Библиографический список

1. Недрига В.П. О водопроницаемости противофильтрационных пленочных экранов искусственных водоемов // Труды ВНИИ ВОДГЕО. Инженерная гидрология. Вып. 52. – М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1976. – С. 22-26.

2. Алимов А.Г. Эффективность облицовок оросительных каналов // Гидротехника и мелиорация. – 1982. – № 4. – С. 31-35.

3. Косиченко Ю.М. Каналы переборки стока России. – Новочеркасск: НГМА, 2004. – 470 с.

4. Ищенко А.В. Повышение эффективности и надежности противофильтрационных облицовок оросительных каналов: монография. – Р/наДону: Известия вузов Северо-Кавказский регион, 2006. – 211 с.

5. Косиченко Ю.М., Баев О.А. Методы расчета водопроницаемости полимерных противофильтрационных экранов гидротехнических сооружений // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2017. – Т. 286. – С. 10-21.

6. Косиченко Ю.М., Баев О.А. Теоретическая оценка водопроницаемости противофильтрационной облицовки нарушенной сплошности // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2014. – № 3 (178). – С. 68-74.

7. Ломизе Г.М. Фильтрация в трещиноватых породах. – М.: Госэнергоиздат, 1951. – 127 с.

8. Программа расчета водопроницаемости и надежности облицовки из геомембраны с защитным покрытием из грунта: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2019660670 / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, О.А. Баев, А.Ю. Гарбуз; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – № 2019660670; заявл. 05.08.19; опубл. 09.08.2019 г.

9. Программа расчета водопроницаемости и надежности облицовки из геомембраны с защитным покрытием из бетона: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ 2019619394 / В.Н. Щедрин, Ю.М. Косиченко, О.А. Баев, А.Ю. Гарбуз; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т

проблем мелиорации. – № 2019619394; заявл. 02.07.19; опубл. 16.07.2019 г.

10. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Water permeability of the polymer screen with a system of slits of hydraulic structures // Magazine of civil engineering. – 2018. – № 7. – Pp. 64-73.

Материал поступил в редакцию 25.06.2020 г.

Сведения об авторе

Косиченко Юрий Михайлович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, «РосНИИПМ», 346421, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190; e-mail: Kosichenko-11@mail.ru

YU.M. KOSICHENKO

Federal state budget scientific institution «Russian research institute of problems of land reclamation», Novocherkassk, Russian Federation

UNIVERSAL METHOD FOR CALCULATING WATER PERMEABILITY OF ANTIFILTRATION LININGS WITH POLYMER GEOMEMBRANES

There is considered a method for calculating water permeability of the main types of channel linings using geosynthetic materials – concrete film and soil film with polymer geomembrane and geotextile. During a long-term operation of irrigation channels it is necessary to carry out a quantitative assessment of water permeability of the linings, the results of which find filtration losses and determine the calculated efficiency. Modern anti-filtration channel linings made of geosynthetic materials can provide a high technical efficiency and durability of the lining. Based on the previously obtained theoretical solutions through single damages, a universal method has been developed that can be used to calculate water permeability of the main types of linings using geomembranes (concrete film and soil film). There are given calculation schemes through soil film and concrete film lining and calculation dependences for the main calculation cases in the presence of cracks and holes in the screen on a highly permeable base and taking into account the influence of the permeability of the underlying base. The influence of the base permeability is taken into account in the calculations by the piezometric pressure h_p at the damage place of to the geomembrane screen which is a residual pressure between the lining and soil base. The residual pressure can have both a positive sign under the excess pressure and a negative sign under formation of vacuum pressure. The calculation formulas for determining the piezo-metric pressure at the place of damage are found using the equation of continuity of the filtration flow passing through defects and damages of the lining. Based on the developed method for calculating water permeability an example of calculation is considered which indicates a high efficiency of linings using geomembranes (concrete film and soil film) and for the concrete lining the condition of efficiency is not fulfilled.

Method of calculation, water permeability, filtration coefficient, polymer geomembrane, concrete film and soil film lining.

References

1. **Nedriga V.P.** O vodopronitsaemosti protivofiltratsionnykh plenochnykh ekranov iskusstvennykh vodoemov // Trudy VNII VODGEO. Inzhenernaya gidrologiya. – M.: 1976. – Вып. 52. – S. 22-26.

2. **Alimov A.G.** Effektivnost oblitsovok orositelnykh kanalov // Gidrotehnika i melioratsiya. – 1982. – № 4. – S. 31-35.

3. **Kosichenko Yu.M.** Kanal yperebroski stoka Rossii. – Novocherkassk: NGMA. – 2004. – 470 s.

4. **Ishenko A.V.** Povyshenie effektivnosti i nadezhnosti protivofiltratsionnyh oblitsovok orositelnyh kanalov: monografiya. – R/naDonu: 2006. – 211 s.

5. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Metody rascheta vodopronitsaemosti polimernykh protivofiltratsionnykh ekranov gidrotehnicheskikh sooruzhenij // Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva. – 2017. – T. 286. – S. 10-21.

6. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Teoreticheskaya otsenka vodopronitsaemosti protivofiltratsionnoj oblitsovki narushennoj sploshnosti // Izvestiyavuzov. Sev. – Kav. region. Tehnicheskienauki. – 2014. – № 3 (178). – S. 68-74.

7. **Lomize G.M.** Filtratsiya v treshinovytyh porodah. – M.: Gosenergoizdat, 1951. – 127 s.

8. Programma rascheta vodopronitsaemosti i nadezhnosti oblitsovki iz geomembrany s zashitnympokrytiemizgrunta: svidetelstvo o gos. registratsiiiprogr. dlya EVM 2019660670 / V.N. Shedrin, Yu.M. Kosichenko, O.A. Baev, A.Yu. Garbuz; zayavitel i patentoobladatel Ros. nauch.-issled.

in-t problem melioratsii. – № 2019660670; zayavl. 05.08.19; opubl. 09.08.2019.

9. Programma rascheta vodopronitsaemosti i nadezhnosti oblitsovki iz geomembrany s zashchitnym pokrytiem iz betona: svidetelstvo o gos. Registratsiiiprogr. – dlya EVM 2019619394 / V.N. Shedrin, Yu.M. Kosichenko, O.A. Baev, A. Yu. Garbuz; zayavitel i patentoobladatel Ros. nauch.-issled. in-t problem melioratsii. – № 2019619394; zayavl. 02.07.19; opubl. 16.07.2019.

10. **Kosichenko Yu.M., Baev O.A.** Water permeability of the polymer seen with a system of slits of hydraulic structures // Magazine of civil engineering. – 2018. – № 7. – Pp. 64-73.

The material was received at the editorial office
25.06.2020

Information about the author

Kosichenko Yuriy Mikhailovich, doctor of technical sciences, professor, chief researcher, «RosNIIPM»; 346421, Novocherkassk, Baklanovsky Ave., 190, e-mail: Kosichenko-11@mail.ru

УДК 502/504:631.45.2:631.6

DOI 10.26897/1997-6011/2020-4-13-22

В.В. ШАБАНОВ, А.Д. СОЛОШЕНКОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПЛОДОРОДИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТОЧНОГО МЕЛИОРАТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

*В статье предлагается метод биоиндикации состояния почвенной биоты как показателя почвенного плодородия. В качестве индикатора деятельности биоты приняты дождевые черви. «Здоровье» почвы характеризуется посредством учета численности и биомассы дождевых червей. Для управления деятельностью почвенной биоты устанавливаются количественные закономерности требований дождевых червей (*Eisenia fetida*) к водному, тепловому и кислотному режимам. Найдена эмпирическая зависимость относительной урожайности горчицы белой от количества (массы) индикаторных организмов по данным полевого опыта. Получена количественная зависимость между урожайностью сельскохозяйственной культуры и интегральной биомассой дождевых червей в каждой точке поля. Показаны биоиндикационные возможности дождевых червей как «измерителей» почвенного плодородия. Большое варьирование данных свидетельствует о необходимости назначения дифференцированного управления для разнородных групп рассматриваемых точек при планировании мелиоративных мероприятий. Получены непрерывные функции требований дождевых червей к влажности, температуре и кислотности среды обитания.*

Точная мелиорация, почвенная биота, индикаторы плодородия, дождевые черви, зависимость урожая от состояния биоты, требования растений, продуктивность земель Московской области, горчица белая.