

УДК 502/504 : 626.823.91 : 678.5

**М. А. ЧЕРНОВ**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»**РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ  
ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОМЕМБРАН**

*Рассмотрены показатели надежности бетонопленочных противофильтрационных облицовок с применением геомембран. Представлена структурная схема надежности и результаты расчета надежности бетонопленочной облицовки с использованием геомембраны при последовательном соединении элементов и различном характере их связи.*

*Противофильтрационная облицовка, конструктивный элемент, эксплуатационная надежность, канал, геомембрана, геотекстиль.*

*There are considered reliability indices of concrete film anti-filtration lining with application of geo-membranes. There is given a structural scheme of reliability and estimation results of concrete film lining with usage of geo-membrane under consequent connection of elements and different character of their connection.*

*Anti-filtration lining, structural element, operational reliability, canal, geo-membrane, geo-textile.*

Надежность противофильтрационных облицовок каналов достигается за счет обеспечения безотказной работы основных элементов конструкции облицовки, которые подвергаются воздействию негативных факторов как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации канала.

В настоящее время наиболее эффективными считаются бетонопленочные противофильтрационные облицовки с использованием геомембран. Основную защиту противофильтрационного элемента обеспечивает защитный слой из сборного или монолитного бетона.

На рис. 1 приведена структурная схема надежности облицовки с применением геомембран. Согласно представленной схеме, отказ облицовки зависит от отказов составных элементов – защитного покрытия из бетона, защитной прокладки из геотекстиля, противофильтрационного элемента из геомембраны. Для каждого конструктивного элемента облицовки характерны те или иные виды дефектов и повреждений, определяющих его отказ.

Под отказом понимается событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта (при работоспособном состоянии значения всех параметров, характеризующих способность

выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической литературы). Под отказом отдельных элементов и облицовки в целом будем понимать нарушение способности выполнять ими заданные функции (например, по защите от повреждений противофильтрационного элемента – геомембраны, по обеспечению водонепроницаемости конструкции при эксплуатации, по восстановлению потерь воды на фильтрацию, по обеспечению коэффициента полезного действия каналов в соответствии с действующими нормативными документами [1]).

На основании анализа накопленного опыта применения различных конструкций облицовок каналов в России и за рубежом автором предлагаются следующие общие критерии технической эффективности и эксплуатационной надежности применительно к бетонопленочной конструкции противофильтрационной облицовки [2–11]:

по водонепроницаемости облицовки –  
 $k'_{обл} \quad k_{обл.нор}$ ; (1)

по повреждаемости противофильтрационного элемента –  
 $\Pi_{пфэ} \quad \Pi_{пфэ.доп}$ ; (2)  
 по трещиноватости и разрушению защитного бетонного покрытия, стыков и



Рис. 1. Структурная схема надежности бетонопленочной облицовки с применением геомембраны

деформационных швов –

$$P_{\text{защ}} = P_{\text{защ, доп}}; \quad (3)$$

по вероятности безотказной работы облицовки –

$$P_{\text{обл}} = P_{\text{нор}}; \quad (4)$$

по сроку службы облицовки –

$$k'_{\text{обл}} = k_{\text{обл, нор}}; \quad (5)$$

где  $k'_{\text{обл}}$  – усредненный коэффициент фильтрации облицовки (натурный или расчетный);  $k_{\text{обл, нор}}$  – нормативный коэффициент фильтрации облицовки (по СНиП 2.06.03–85 [1]);  $P_{\text{пфэ}}, P_{\text{пфэ, доп}}$  – фактическая и допустимая повреждаемость противофильтрационного элемента (ПФЭ);  $P_{\text{защ}}, P_{\text{защ, доп}}$  – фактическая и допустимая повреждаемость, степень трещиноватости и разрушения швов защитного покрытия;  $P_{\text{обл}}, P_{\text{нор}}$  – фактическая и нормативная безотказность работы противофильтрационной облицовки;  $t_{\text{обл}}, t_{\text{нор}}$  – срок службы облицовки, фактический и допустимый, в соответствии с классом сооружения (по СНиП 33-01–2003 [9]).

На рис. 2 показаны конструкции бетонопленочных облицовок каналов с использованием геомембраны.

Конструкция облицовки на рис. 2а включает защитное покрытие из монолитного бетона или сборных железобетонных плит с герметизацией стыков и деформационных швов. Геомембрана укладывается

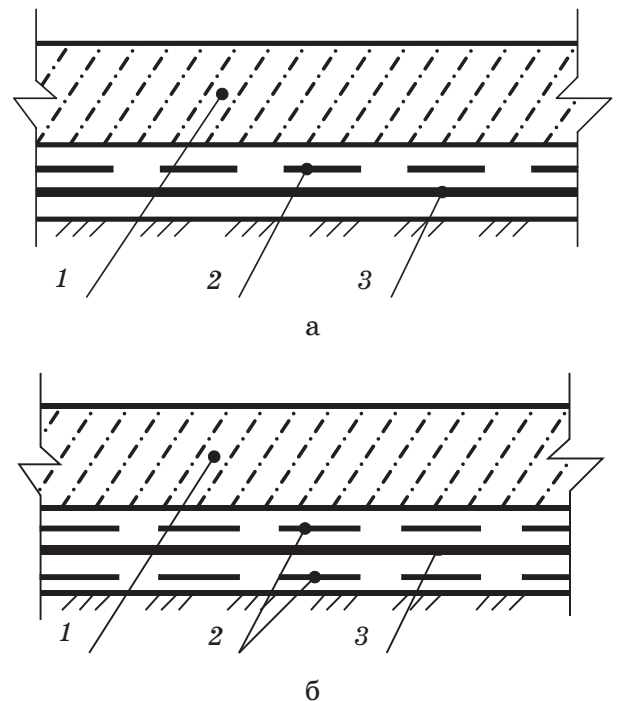


Рис. 2. Конструкции бетонопленочных облицовок с использованием геомембраны: 1 – защитное покрытие из бетона; 2 – защитная прокладка из геотекстиля; 3 – противофильтрационный элемент из геомембраны

непосредственно на подготовленное основание с частицами не более 10 мм. Геомембраны выполняются из полиэтилена низкой или высокой плотности, битумно-полимерных композиций, этиленпропиленового или бутилкаучука; выпускаются зарубежными фирмами «Carbofol», «GSE», «Siplast», «Taurus», «Carpi», «Firestone» и другими и отечественными фирмами «Ростехнология», «Аником», «Центр дорожных технологий» и другими. В зависимости от типа материала используется склейка или сварка полотнищ. Для исключения повреждений геомембраны в процессе строительства и эксплуатации под бетонное покрытие укладывается геотекстиль (стабитекс, маккафери, дорнит и др.) плотностью 250...600 г/м<sup>2</sup>.

В случае, если основание облицовки имеет грунты с крупностью фракции более 10 мм (гравелисто-галечниковые), то в конструкции облицовки рекомендуется устройство дополнительной защитной прокладки из геотекстиля под геомембраной (рис. 2б). Данные конструкции облицовок отличаются повышенной надежностью и долговечностью. По данным ведущей зарубежной фирмы в области геомембранных технологий в гидротехническом строительстве «CARPI» (Швейцария), такие конструкции по водонепроницаемости превышают эффективность существующих традиционных бетоноплочных облицовок в России на два-три порядка и по сроку службы превосходят их в 2–2,5 раза [2, 3].

Рассмотрим оценку надежности бетоноплочной конструкции противofильтрационной облицовки с использованием геомембраны. Данная конструкция облицовки состоит из трех основных элементов, при этом каждый элемент может находиться в работоспособном и неработоспособном состоянии. С точки зрения надежности он может быть в одном из двух состояний: безотказном  $H_i$  и отказном  $H_j$ .

Соединение основных конструктивных элементов с точки зрения обеспечения противofильтрационных свойств конструкции облицовки (по направлению движения возможного фильтрационного потока сверху из канала вниз к грунтовому основанию) может быть представлено как последовательное при условиях независимости и зависимости отказов каждого элемента. При последовательном соединении элементов облицовки, когда

полагают, что отказ каждого элемента является событием случайным и независимым, вероятность безотказной работы облицовки в течение времени  $t$  равна произведению вероятностей безотказной работы его элементов в течение того же времени [10]:

$$P_{\text{обл}} t = P_{\text{защ.пк}} t P_{\text{защ.пр}} t P_{\text{пфэ}} t \prod_{i=1}^3 P_i t, \quad (6)$$

где  $P_{\text{защ.пк}} t$ ,  $P_{\text{защ.пр}} t$ ,  $P_{\text{пфэ}} t$  – вероятность безотказной работы соответствующих элементов облицовки: защитного покрытия из бетона; защитной прокладки из геотекстиля, противofильтрационного элемента из геомембраны соответственно.

В случае, когда между отдельными элементами облицовки имеется статистическая связь, например при отказе (повреждении) защитной прокладки из геотекстиля, возможен отказ (повреждение) противofильтрационного элемента из геомембраны. При расчете вероятности безотказной работы облицовки учитываются многомерные условия безотказности [10]:

$$P_{\text{обл}} = P_{\text{защ.пк}} P_{\text{защ.пр}} P_{\text{пфэ}} P_{\text{min}} P_{\text{защ.пр}} P_{\text{пфэ}} K_N, \quad (7)$$

или

$$P_{\text{обл}} = \prod_{i=1}^3 P_i P_{\text{min}} \prod_{i=1}^2 P_i K_N, \quad (8)$$

где  $K_N$  – коэффициент, учитывающий статистическую взаимосвязь между элементами;

$$K_N = \frac{2}{c} \arcsin \rho_{H_i H_j}, \quad (9)$$

$$c = \frac{n_i n_j - 1}{2},$$

где  $\rho_{H_i H_j}$  – коэффициент корреляции между событиями  $H_i$  и  $H_j$ .

$$P_{H_i H_j} = \frac{P_{H_i} P_{H_j} \rho_{H_i H_j}}{\sqrt{P_{H_i} P_{H_j} (1 - \rho_{H_i H_j}^2)}}, \quad (10)$$

где  $P_{H_i} P_{H_j}$  – вероятность одновременного появления событий  $H_i$  и  $H_j$ ;  $P_{H_i}$  – вероятность появления события  $H_i$ ;  $P_{H_j}$  – вероятность появления события  $H_j$ .

В табл. 1 приведены результаты расчета надежности бетоноплочной облицовки с использованием геомембраны при последовательном соединении элементов и различном характере их связи. Анализ результатов, представленных в табл. 1, показывает, что с возрастанием вероятности безотказной работы повышается надежность облицовки в целом на 13,3 % ( $P_{\text{обл}} = 0,799$  до  $P_{\text{обл}} = 0,922$ ), а при наличии статистической связи элементов (когда отказы или повреждения защитной

прокладки из геотекстиля непосредственно влияют на отказы или повреждения геомембраны) с увеличением корреляционной связи от 0 до 1,0 надежность облицовки снижается на 11,2 % (с  $P_{обл} = 0,799$  до  $P_{обл} = 0,709$ ).

Нормативное значение вероятности безотказной работы облицовки может устанавливаться в зависимости от класса сооружения (канала). Согласно рекомендациям Ц. Е. Мирцхулавы, нормативное значение  $P_{нор}$  для сооружений IV...II класса может быть принято равным 0,95...0,99 [10].

Другие расчетные значения параметров облицовки с использованием геомембраны, характеризующих надежность при эксплуатации, могут быть определены по формулам, полученным автором [11]:

усредненный коэффициент фильтрации облицовки при  $k_{гр} / k_{защ.пк} > 10$  –

$$k_{обл} = \frac{3,302\pi^2 k_{защ.пк} \delta_0 r_{усл} n}{\ln \frac{3,302 F_o^m}{P_{пфэ}^m} \ln \frac{8\delta_0}{\pi r_{усл}}}$$

усредненный коэффициент фильтрации при  $k_{гр} / k_{защ.пк} < 10$  –

$$k_{обл} = \frac{3,302\pi^2 k_{защ.пк} \delta_0 h_0 \delta_0 h_1 r_{усл} n}{h_0 \delta \ln \frac{3,302 F_o^m}{P_{пфэ}^m} \ln \frac{8\delta_0}{\pi r_{усл}}}$$

прогнозный срок службы облицовки –

$$P_{обл} = \frac{\ln P}{\bar{v}_{II}} \exp \frac{\Pi_{доп} \bar{\Pi}^2}{2\sigma_{\bar{\Pi}}^2},$$

где  $k_{гр}$  – коэффициент фильтрации грунта основания;  $k_{защ.пк}$  – коэффициент фильтрации защитного покрытия облицовки;  $\delta_0$  – толщина облицовки;  $n$  – количество повреждений;  $r_{усл}$  – радиус условного отверстия повреждения в ПФЭ;  $F_o$  – площадь облицовки;  $h_0$  – глубина воды;  $h_1$  – остаточный напор под облицовкой;  $m$  – количество интервалов повреждений;  $P_{пфэ}$  – вероятность повреждения ПФЭ;  $\bar{\Pi}$  – средняя интенсивность повреждений;  $\bar{\Pi}$  – средняя повреждаемость ПФЭ;  $\sigma_{\bar{\Pi}}$  – среднеквадратическое отклонение повреждаемости ПФЭ;  $P$  – заданная надежность определения прогнозного срока службы облицовки.

В табл. 2 представлены результаты расчета указанных характеристик надежности облицовки с использованием геомембраны.

Анализ полученных расчетных данных показывает, что для бетонопленочной облицовки с использованием геомембраны толщиной более 1,0 мм, по сравнению с традиционными бетонопленочными облицовками с применением полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм [4], водонепроницаемость облицовки повышается на три порядка (с  $k'_{обл.тр} 1,0 \cdot 10^6$  см/с до  $k'_{обл.гм} 0,92 \cdot 10^9$  см/с), а срок службы увеличивается в 2,6 раза (с

Таблица 1

Результаты расчета надежности бетонопленочной облицовки с применением геомембраны

Характер связи элементов	Исходные данные	Расчетные данные		
		$\rho_i$	$K_N$	$P_{обл}$
Независимый (при отсутствии статистической связи элементов)	$P_{защ.пк}$ 0,85	–	–	0,799
	$P_{защ.пр}$ 0,95			
	$P_{пфэ}$ 0,99			
	$P_{защ.пк}$ 0,90	–	–	0,860
	$P_{защ.пр}$ 0,965			
	$P_{пфэ}$ 0,99			
	$P_{защ.пк}$ 0,95	–	–	0,922
	$P_{защ.пр}$ 0,98			
	$P_{пфэ}$ 0,99			
Зависимый (при наличии статистической связи элементов)	$P_{защ.пк}$ 0,85	0	0	0,799
	$P_{защ.пр}$ 0,95	0,25	0,161	0,784
	$P_{пфэ}$ 0,99	0,50	0,334	0,769
		0,75	0,504	0,754
		1,0	1,0	0,709



Результаты расчета характеристик надежности облицовки  $k'_{обл}$  и  $P_{обл}$ 

Исходные данные						Расчетные данные	
$r_{усл}$ , мм	$P'_{пфэ}$	$n_{лм^2}$	$P$	$\bar{П}$	$\bar{п}$ , 1/м <sup>2</sup>	$k'_{обл}$ , см/с	$P_{обл}$ , лет
0,5	0,0263	0,15	0,99	0,0064	7,2	$0,921 \cdot 10^{-9}$	91

35 лет до обл.тр 91 год).

Полученные результаты подтверждаются данными фирмы «CARPI», согласно которым коэффициент фильтрации облицовки с применением геомембраны составляет  $10^{-8} \dots 10^{-10}$  см/с, а срок службы с защищенными геомембранами прогнозируется до 100 лет и более [2].

#### Выводы

На основе проведенного расчетного обоснования доказана высокая надежность и противотеплоизоляционная эффективность новых конструкций бетоноплочных облицовок с применением геомембран.

Новые конструкции бетоноплочных облицовок по сравнению с традиционными конструкциями облицовок являются практически водонепроницаемыми, так как их усредненный коэффициент фильтрации на два-три порядка ниже существующих и соответствует коэффициенту фильтрации бетона наиболее высокой марки.

Прогнозный срок службы бетоноплочных конструкций облицовок с использованием геомембран достигает 100 лет и соответствует данным зарубежных фирм, занимающихся производством и укладкой геомембран.

1. СНиП 2.06.03–85. Мелиоративные системы и сооружения. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 65 с.

2. Скуеро А. М., Васкетти Г. Л. Геомембраны – хорошо зарекомендовавшие себя водонепроницаемые системы на гидротехнических сооружениях: Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. – 2011. – С. 59–68.

3. Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин [и др.]; под ред. В. С. Алтунина. – М.: Агропромиздат, 1988. – 158 с.

4. Резник В. Б. Новые материалы и конструкции на основе полимеров в водохозяйственном строительстве. – Киев: Будивельник, 1987. – 176 с.

5. Попов М. А. Румянцев И. С. Природоохранные сооружения. – М.: Колос, 2005. – 520 с.

6. Ищенко А. В. Повышение эффективности и надежности противотеплоизоляционных облицовок оросительных каналов / Известия вузов Сев.-Кав. региона: сб. статей. – Ростов-на-Дону, 2006. – 211 с.

7. Алимов А. Г. Противотеплоизоляционная защита каналов и водоемов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 4. – С. 36–42.

8. Коваленко П. И., Ливак Л. С. Борьба с потерями воды из каналов в США // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 3. – С. 57–60.

9. СНиП 33-01–2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. – М., 2003. – 25 с.

10. Мирцхулава Ц. Е. О надежности крупных каналов. – М.: Колос, 1981. – 318 с.

11. Чернов М. А. Обоснование противотеплоизоляционной эффективности облицовок каналов с применением полимерных материалов / Известия вузов Сев.-Кав. региона: сб. статей. – Ростов-на-Дону, 2011. – № 2. – С. 108–114.

Материал поступил в редакцию 28.04. 11.

**Чернов Михаил Александрович**, научный сотрудник.

Тел. 8(8635)22-18-86

E-mail: mixachernov@mail.ru