

УДК 626.823.916

М. А. Чернов (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

КОНСТРУКЦИИ ЗАЩИТНЫХ ОБЛИЦОВОК КАНАЛОВ И ВОДОЕМОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены геосинтетические материалы, применяемые в гидротехническом строительстве, и приведены их основные физико-механические характеристики. Представлены конструкции и значения основных показателей надежности противофильтрационных облицовок каналов и водоемов, определены виды отказов их основных конструктивных элементов.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, противофильтрационная облицовка, канал, конструктивный элемент, коэффициент фильтрации.

M. A. Chernov

CONSTRUCTIONS FOR SAFETY FACINGS OF CHANNELS AND RESERVOIRS USING GEOSYNTHETIC MATERIALS

Geosynthetic materials used in hydraulic engineering are considered in the article. Its basic physical and mechanical characteristics are given. Constructions and values of the basic reliability parameters impervious linings of channels and reservoirs are presented. Failure modes of the main structural elements are defined.

Keywords: geosynthetic materials, impervious lining, channel, design elements, the filtration coefficient.

Геосинтетические материалы получили большое распространение в отечественном и зарубежном гидротехническом строительстве, в конструкциях противофильтрационных облицовок каналов, покрытий водоемов, а также в дренажных и берегозащитных устройствах.

Геосинтетические материалы (geosynthetics; GSY) – материалы из синтетических или природных полимеров, контактирующие с грунтом или другими средами, применяемые в строительстве [1]. Такие материалы воспринимают значительные растягивающие напряжения, сохраняют прочность даже при больших деформациях, однородны по своему качеству, долговечны, технологичны и эффективны в строительстве. В таблице 1 представлены физико-механические характеристики современных геосинтетических материалов, применяемых в гидротехническом строительстве.

Таблица 1 – Сведения о характеристиках геосинтетических материалов

Наименование	Область применения	Материал изготовления	Толщина, мм	Усилие при растяжении, кН/м	Сопротивление продавливанию, Н	Поверхностная плотность, г/м ²
Геомембрана	Противофильтрационный элемент облицовок каналов и водоемов	Полиэтилен, поливинилхлорид, бutilкаучук	1,0-3,0	27-84	330-970	940-980
Геотекстиль	Закрепление слабых оснований	Тканый полипропилен	0,7-3,0	110-1100	-	340-2110
	Защитная прокладка, элемент дренажных устройств	Нетканый иглопробивной полипропилен	2,0-5,0	6,0-28,0	500-2500	350-600
Геокомпози́ты	Дренажные устройства	Дренажная основа + два слоя нетканого иглопробивного геотекстиля	8,0-20,0	10,5-23,0	не менее 500	-
Гео-решетка	Закрепление грунтов, природных и искусственных объектов	Полиэтилен	1,5-2,5	18,5-30,0	-	940-980
Габионы	Берегозащитные сооружения. В качестве защитного покрытия в конструкциях противофильтрационных облицовок	Металлическая сетка двойного кручения с антикоррозийным покрытием	2,7-3,7	-	-	-

Геосинтетические материалы, применяемые в гидротехническом строительстве разделяются на следующие виды:

- водонепроницаемые (противофильтрационные) – геомембраны – предназначены для обеспечения гидроизоляции фундаментов, тоннелей, применяются в качестве противофильтрационных элементов в облицовках каналов и водоемов;

- водопроницаемые (фильтрующие) – геотексти́ли, геокомпози́ты –

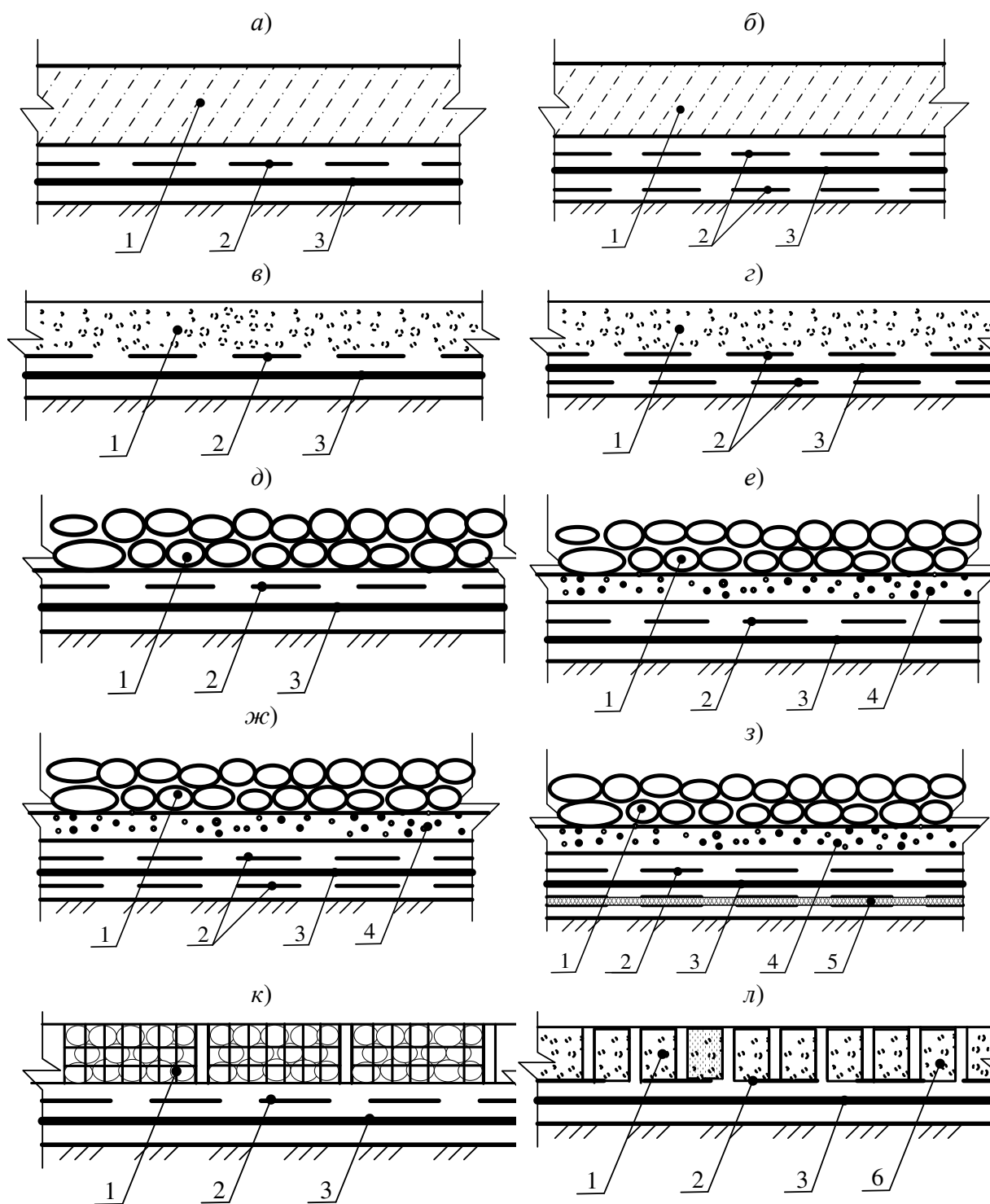
применяются в конструкциях дренажных устройств, для закрепления грунтов и в противофильтрационных облицовках каналов и водоемов, в качестве защитных прокладок;

- защитные – георешетки, габионы – применяются в конструкциях берегозащитных устройств, противофильтрационных облицовок – в качестве защитных покрытий.

В настоящее время существует большое разнообразие конструкций противофильтрационных облицовок каналов и водоемов с применением геосинтетических материалов. На основании обобщения зарубежного опыта применения геотекстильных материалов в гидротехническом строительстве (компании Carpi, Rehau, Maccaferri) и отечественного опыта применения полимерных пленочных материалов для противофильтрационной защиты каналов и водоемов [2], разработаны различные конструкции защитных облицовок с использованием геосинтетических материалов (рисунок 1), которые могут применяться в качестве берегозащитных и противофильтрационных покрытий на каналах, водоемах и накопителях.

Конструкции облицовок с геомембраной и защитным покрытием из бетона (рисунок 1а и 1б) рекомендуются для создания противофильтрационной защиты на каналах и водоемах на устойчивых непросадочных и непучинистых основаниях с максимальной величиной их деформации (просадки) до 0,2 м. Для варианта облицовки на рисунке 1а противофильтрационный элемент из геомембраны толщиной 1,0-2,5 мм укладывается непосредственно на подготовленное основание с частицами не более 10 мм, а для варианта на рисунке 1б, когда в основании залегают грунты с крупностью фракции более 10 мм (например, гравелисто-галечниковые), геомембрана, во избежание проколов и вмятин, укладывается на предварительно уложенную защитную прокладку из геотекстиля.

Для защиты геомембраны от повреждений при укладке бетонного покрытия сверху предусматривается защитная прокладка из геотекстиля плотностью от 400 до 1000 г/м².



а, б – с геомембраной и защитным покрытием из бетона; в, г – с геомембраной и защитным покрытием из грунта; д, з – с геомембраной и защитным покрытием из каменной наброски; и, л – с геомембраной и защитным покрытием из габионов и георешетки

1 – защитное покрытие; 2 – защитная прокладка из геотекстиля;
3 – противофильтрационный элемент из геомембраны; 4 – защитный слой из песка;
5 – дренажный элемент из геокомпозита; 6 – георешетка

Рисунок 1 – Конструкции противофильтрационных облицовок каналов и водоемов с использованием геосинтетических материалов

Указанные конструкции облицовок обеспечивают высокий противofильтрационный эффект (осредненный коэффициент фильтрации облицовки составляет 10^{-8} - 10^{-9} см/с) и значительный срок службы – до 75 лет, при условии проведения текущих и капитальных ремонтов бетонного покрытия. Кроме того, в отличие от других типов облицовок, они придают конструкции наименьшую шероховатость поверхности с коэффициентом шероховатости $n=0,015$ - $0,018$, что обеспечивает высокую пропускную способность русел каналов.

Конструкции облицовок с геомембраной и защитным покрытием из грунта (рисунки 1в и 1г) целесообразно применять на водоемах и накопителях на слабopосадочных и слабopучинистых основаниях с максимальной величиной просадки до 0,4 м. Для варианта конструкции на рисунке 1в основание не должно содержать частицы с крупностью фракции более 10 мм, а для варианта на рисунке 1г основание может содержать фракции крупнее 10 мм (гравелисто-галечниковые).

Данные конструкции отличаются большой деформационной способностью, а также обеспечивают высокие противofильтрационные свойства облицовки, прогнозный срок службы грунтопленочных противofильтрационных облицовок с применением геомембран составляет 75-100 лет. К недостаткам конструкции следует отнести вероятность оползания защитного грунтового слоя на откосах с заложением 1:3 и его размыв при колебаниях уровня воды. Толщина защитного покрытия из грунта должна составлять от 0,5 до 1,0 м, что требует выполнения значительного объема земляных работ.

Конструкции облицовок с геомембраной и защитным покрытием из каменной наброски (рисунки 1д-1з) могут применяться на каналах, водоемах и накопителях как на среднеустойчивых, так и на неустойчивых основаниях с максимальной величиной просадки более 0,2-0,4 м.

Поскольку в состав этих конструкций входит защитное покрытие из каменной наброски, которое само по себе является весьма гибким и будет следовать за деформациями основания без его нарушения, то они будут надежно работать при значительных деформациях до 0,5-0,7 м. К недостаткам следует отнести высокую шероховатость поверхности с коэффициентом шероховатости $n=0,030-0,035$, что будет влиять на пропускную способность каналов, уменьшая ее, особенно в первые годы эксплуатации. Затем коэффициент n будет снижаться вследствие кольматации и заиления каменной наброски, и после 5-10 лет эксплуатации он будет близким к земляным руслам каналов $n=0,020-0,025$. Толщина защитного покрытия из каменной наброски должна приниматься не менее 0,3-0,5 м, во избежание оползания покрытия при эксплуатации камень следует укладывать в 2-3 слоя.

На рисунке 1к представлена конструкция противифльтрационной облицовки с защитным покрытием из габионов матрасного типа толщиной 0,17-0,3 м. Данная конструкция применима при строительстве каналов и водоемов. Благодаря высокой гибкости, конструкция может применяться на средне- и сильнопросадочных грунтах, коэффициент заложения откосов в зависимости от толщины габионных конструкций принимается от 1:4 до 1:3. К недостаткам данной конструкции можно отнести повышенную шероховатость $n=0,030-0,032$ защитного покрытия из габионных конструкций, снижающую пропускную способность каналов в первые годы эксплуатации.

Конструкция противифльтрационной облицовки с применением в качестве защитного покрытия георешетки показана на рисунке 1л. Данная конструкция применима при устройстве водоемов на средне- и сильнопросадочных основаниях, коэффициент заложения откосов рекомендуется принимать не менее 1:3. Данная противифльтрационная конструкция – это аналог традиционной грунтопленочной конструкции, обладаю-

ший рядом достоинств, таких как уменьшение толщины защитного покрытия с 0,5-1,0 м до 0,15-0,3 м и, как следствие, уменьшение объемов земляных работ, высокая стойкость к просадкам, пучению и вымыву грунта благодаря закреплению его ячейками георешетки.

В настоящее время при строительстве каналов, водоемов и плотин широкое распространение получили поверхностные противофильтрационные экраны [3]. При устройстве поверхностных экранов в зависимости от напора и назначения объекта применяется геомембрана толщиной 1,0-2,5 мм, с защитной прокладкой из геотекстиля или без нее в зависимости от крупности частиц грунта основания. Основные достоинства поверхностных противофильтрационных экранов: малые сроки строительства, низкая материалоемкость и трудоемкость устройства; стойкость покрытия к просадкам и пучению грунта; высокая ремонтпригодность; срок службы 20-30 лет. Применение поверхностных противофильтрационных экранов при строительстве каналов позволит существенно повысить пропускную способность канала за счет снижения шероховатости русла до $n = 0,012-0,014$. Основной недостаток конструкции – легкая доступность к геомембране и, соответственно, возможность ее повреждения. В связи с этим данная конструкция рекомендуется к применению только на водоемах и накопителях с обязательным устройством ограждения по всему периметру и осуществлением охраны объекта.

Автором проведено натурное обследование двух российских объектов с геомембраной: водоемов-накопителей на Пятигорском Ипподроме (рисунок 2).

Работы по устройству поверхностного экрана выполнены фирмой «Ростехнология» с применением геомембраны Carbofol (Германия) из полиэтилена высокой плотности низкого давления, толщиной 1,0 мм. Соединение полотнищ геомембраны осуществлялось с использованием аппаратов горячего клина, с формированием шва с проверочным каналом.



**Рисунок 2 –Водоем-накопитель с поверхностным
противофильтрационным экраном из геомембраны**

При проведении обследования недоваров и пережегов швов и повреждения геомембраны не обнаружено, по результатам исследований водного баланса осредненный коэффициент фильтрации покрытия составил $k'_{\text{обл}} = (8,83 \div 1,32) \cdot 10^{-9} \text{ см/с}$, что свидетельствует о высокой противофильтрационной эффективности покрытия и соответствует зарубежным данным [3].

Надежность конструкции противофильтрационной облицовки зависит от надежности ее основных конструктивных элементов. В свою очередь надежность конструктивных элементов оценивается по их техническому состоянию. На рисунке 3 представлены виды отказов конструктивных элементов рассмотренных выше противофильтрационных покрытий.

Под отказом конструктивного элемента, с точки зрения надежности, будем понимать его нерабочее состояние.



Рисунок 3 – Виды отказов конструктивных элементов противофильтрационных облицовок

Отказ защитного покрытия возможен в процессе эксплуатации объекта вследствие воздействия на покрытие негативных факторов внешней среды, пучений и осадок грунтов подстилающего основания. Защитная прокладка из геотекстиля может повреждаться как при эксплуатации канала, так и при проведении строительно-монтажных работ вследствие нарушений правил укладки защитного покрытия. Вероятность отказа противо-

фильтрационного элемента зависит от качества выполнения строительного-монтажных работ.

Соединение основных конструктивных элементов с точки зрения обеспечения их противофильтрационных 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 $P_{\text{обл}}$ в течение времени t будет равна произведению вероятностей безотказной работы его элементов в течение того же времени [4]:

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

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; противофильтрационного элемента из геомембраны.

В случае, когда между отдельными элементами облицовки имеется статистическая связь, например при отказе (повреждении) защитной прокладки из геотекстиля, возможен отказ (повреждение) противофильтрационного элемента из геомембраны, при расчете вероятности безотказной работы облицовки учитываются многомерные условия безотказности [5]:

$$P_{\text{обл}} = (P_{\text{защ.пк}} \cdot P_{\text{защ.пр}} \cdot P_{\text{пфэ}}) + (P_{\text{мин}} - P_{\text{защ.пр}} \cdot P_{\text{пфэ}})K_N, \quad (2)$$

или

$$P_{\text{обл}} = \prod_{i=1}^3 P_i + \left[P_{\text{мин}} - \prod_{i=1}^2 P_i \right] K_N, \quad (3)$$

где K_N – коэффициент, учитывающий статистическую взаимосвязь между элементами [5].

Оценку эффективности и надежности противofильтрационной облицовки каналов следует осуществлять, используя основные критерии технической эффективности и эксплуатационной надежности облицовок каналов [6, 7].

В таблице 2 представлены расчетные значения показателей эксплуатационной надежности рассмотренных конструкций противofильтрационных облицовок.

Таблица 2 – Показатели эксплуатационной надежности конструкций противofильтрационных облицовок с применением геомембран

Тип облицовки	Показатель эксплуатационной надежности		
	Вероятность безотказной работы облицовки, P	Осредненный коэффициент фильтрации облицовки, $k'_{обл}$, см/с	Срок службы облицовки, τ_0 , лет
С защитным покрытием из бетона	0,99	10^{-8} - 10^{-9}	50-75
С защитным покрытием из грунта	0,97	10^{-9} - 10^{-10}	75-100
С защитным покрытием из габионов	0,98	10^{-8} - 10^{-9}	50
Открытый экран	0,90	10^{-8} - 10^{-10}	30-35

Анализ результатов таблицы 2 показывает, что наиболее надежными являются конструкции противofильтрационных облицовок с защитным покрытием из габионов и бетонным защитным покрытием, что объясняется стойкостью защитных покрытий к воздействиям внешней среды; для конструкций с защитным покрытием из грунта вероятность безотказной работы ниже, так как при их эксплуатации возможны оползание и смыв защитного слоя грунта. Вероятность безотказной работы открытых противofильтрационных покрытий наиболее низкая (0,90 и ниже) и в значительной степени зависит от условий эксплуатации и надежной охраны объекта.

В отношении противофильтрационной эффективности из рассмотренных конструкций наиболее эффективными считаются конструкции с защитным покрытием из грунта и открытые экраны, что объясняется кольматацией повреждений противофильтрационного элемента при эксплуатации и высокой ремонтпригодностью открытых противофильтрационных экранов. Срок службы рассмотренных конструкций противофильтрационных облицовок определен исходя из долговечности защитного слоя и противофильтрационного элемента.

Полученные результаты подтверждаются данными фирмы Carpi [3], согласно которым коэффициент фильтрации облицовки с применением геомембраны составляет в пределах $k'_{\text{обл.гм}} = 10^{-8}-10^{-10}$ см/с, а срок службы с защищенными геомембранами прогнозируется до 100 лет и более.

Список использованных источников

1 Стандарт ISO 10318:2005. Геосинтетические материалы. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Введ. 2005-07-01. – Режим доступа: http://www.iso.org/iso/ru/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?ics1=1&ics2=40&ics3=59&csnumber=41055, 2011.

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

3 Скуеро, А. М. Геомембраны – хорошо зарекомендовавшие себя водонепроницаемые системы на гидротехнических сооружениях [Электронный ресурс] / А. М. Скуеро, Г. Л. Васкетти // Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. – С. 59-68. – Режим доступа: http://old.em.ru/archive/prilojene/2007/05/59-68_Scuero.pdf, 2011.

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

5 Мирцхулава, Ц. Е. Надежность систем осушения / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Агропромиздат, 1985. – 240 с.

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(03), 2011 г.

6 Чернов, М. А. Оценка эксплуатационной надежности конструкций бетонопленочных облицовок каналов / М. А. Чернов // Известия вузов. Сев.-Кав. регион, Техн. науки. – 2011. – № 1. – С. 136-139.

7 Чернов, М. А. Обоснование противифльтрационной эффективности облицовок каналов с применением полимерных материалов / М. А. Чернов // Известия вузов. Сев.-Кав. регион, Техн. науки. – 2011. – № 2. – С. 108-114.