

## Противофильтрационные элементы из геомембран. Опыт применения в гидротехническом строительстве

Аспирант О.Ю. Лупачев\*

д.т.н., профессор В.И. Телешев

ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Применение синтетических полимерных материалов в качестве противофильтрационных элементов в гидротехническом строительстве началось еще в первой половине прошлого века. Первоначально это были тонкие, толщиной 0,1-0,5 мм полиэтиленовые и поливинилхлоридные пленки. В дальнейшем по мере развития технологии производства, качества синтетики, ее долговечности начался выпуск и других материалов.

Современные полимерные материалы обладают рядом существенных преимуществ перед другими материалами. Они воспринимают значительные растягивающие напряжения, сохраняют прочность даже при больших деформациях, однородны по своему качеству, долговечны, технологичны и эффективны для применения в строительстве.

Благоприятными предпосылками для их применения являются малая материалоемкость, высокая технологичность при их использовании, малая зависимость от местных условий.

В настоящее время все эти листовые материалы и конструкции из них, предназначенные для устройства противофильтрационных элементов различных сооружений, называют «геомембраны». Наиболее распространены геомембраны из полиэтилена (ПЭ) и поливинилхлорида (ПВХ).

Целью данной статьи является описание технологии использования противофильтрационных элементов из геомембран на примере строительства хвостохранилища.

Геомембраны представляют собой пленочные материалы, изготовленные из синтетических полимеров. Они могут быть армированными и неармированными. Армирующий материал может быть из тканого и нетканого геотекстиля, стекловолокна и других материалов. Изготавливают и перевозят геомембраны обычно в рулонах шириной от 1,5 до 10 м. Толщина геомембран колеблется, как правило, в диапазоне от 1,0 до 3,5 мм.

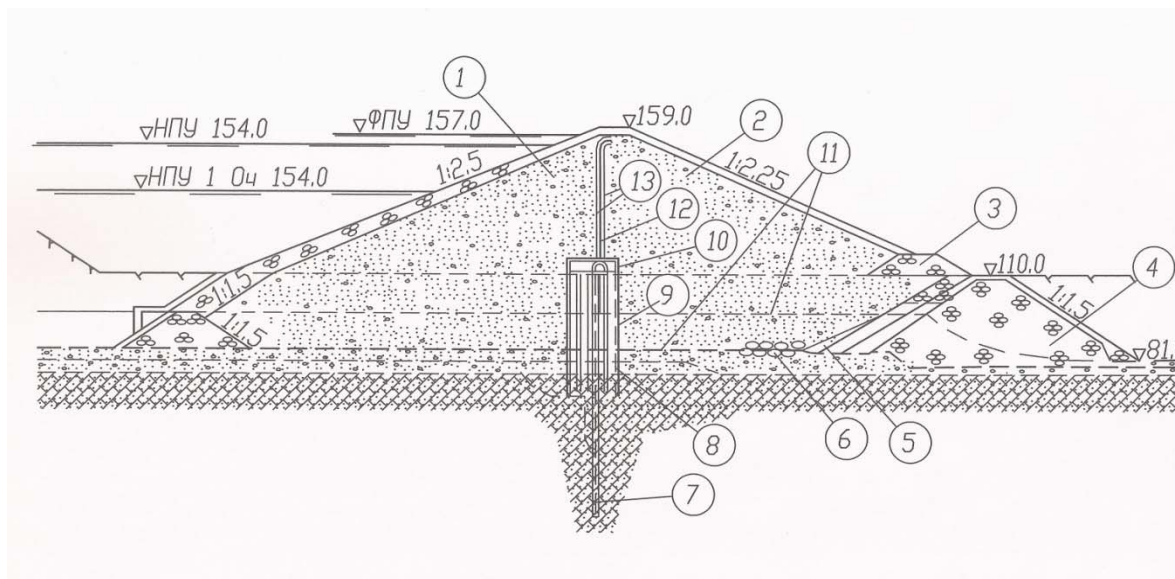
Геомембраны применяются как при строительстве земляных, так и бетонных плотин и их ремонте. В грунтовых плотинах из них выполняются диафрагмы или экраны, в бетонных плотинах геомембрана наклеивается на верхнюю грань плотины, обеспечивая ее водонепроницаемость.

Конструкции противофильтрационных элементов грунтовых сооружений с применением геомембран весьма требовательны к гранулометрическому составу грунтов переходных зон. Повреждаемость полимерных полотнищ частицами грунта зависит от размеров и геометрической формы этих частиц. Риск повреждения пленки частицами грунта снижается при уменьшении крупности частиц грунта и использовании грунтов с частицами округлой формы. Поэтому на практике наиболее часто переходные зоны выполняются из песка.

В настоящее время, как правило, геомембраны входят в состав геокомпозитной конструкции, в которой водонепроницаемый элемент используется в сочетании с защитными прокладками, повышающими устойчивость конструкции против механических повреждений. В качестве защитных прокладок используются рубероид, различные рулонные пластмассовые материалы, поролон, резина, стеклоткани и стеклотетки, а также тканые и нетканые геотекстили.

Наиболее крупным гидротехническим сооружением с противофильтрационным элементом из полиэтиленовой пленки на территории бывшего СССР является плотина Атбашинской ГЭС в Киргизии, построенная в 1960 г. (рис. 1). Тело плотины отсыпано из песчано-гравелистых грунтов. Полный напор на плотину составляет 73 м. Центральная вертикальная полиэтиленовая диафрагма выполнена из трех слоев полиэтиленовой пленки толщиной 0,6 мм, стабилизированной сажей. Средний слой пленки представляет собой собственно водонепроницаемый элемент диафрагмы, а прилегающие к нему с обеих сторон дополнительные слои защищают средний слой от случайных повреждений в период строительства и продавливания частицами грунта в эксплуатационный период. Трехслойная диафрагма находится между двумя призмами песка с максимальной крупностью частиц 5 мм. Плотина возведена в узком каньоне, борта которого имеют крутизну 70-82 град.

Строительство диафрагмы Атбашинской плотины велось в зимнее время при температурах воздуха до минус 20°C и сильных ветрах, порывами до 20-30 м/с. Наблюдения показывают, что на пленочной диафрагме имеет место 100%-ное гашение напора. Диафрагма практически водонепроницаема [2].



**Рисунок 1. Плотина Атбашинской ГЭС с полиэтиленовой диафрагмой**

**1 – пригрузочный слой из крупного камня; 2 – песчано-галечниковый грунт; 3 – упорный низовой банкет из камня; 4 – банкет перекрытия; 5 – переходный слой с обратным фильтром; 6 – естественный завал русла камнем; 7 – инъекционная завеса; 8 – противофильтрационная завеса в песчано-галечниковом грунте; 9 – бетонная пробка; 10 – галерея; 11 – зона отсыпки грунта в воду; 12 – диафрагма толщиной 1 мм; 13 – защитные полотнища**

В заграничной практике наибольшая высота грунтовой плотины с экраном из геомембраны составляет 91 м (плотина Бовилл, Албания, 1996 г.). При устройстве водонепроницаемого экрана плотины использовался тяжелый геокомпозит, состоящий из 3 мм прессованной поливинилхлоридной геомембраны, соединенной с полиэфирным нетканым геотекстилем горячим вальцеванием. Геокомпозит был развернут из рулонов от гребня дамбы вниз по верховому откосу, имеющему заложение 1:1,6. Каждый рулон покрывает всю длину откоса, что исключало необходимость устройства горизонтальных швов.

Соединение полотнищ производилось двойным швом с воздушным каналом между швами. Все швы подвергались пневматическому испытанию на герметичность. Защиту поверхности геомембраны обеспечивают изготовленные на месте плиты из монолитного бетона размером 3\*6 м, уложенные на полипропиленовый нетканый геотекстиль. Анкеровка геокомпозита к бетону по периметру экрана производилась резинометаллическими хомутами.

Полиэтиленовые пленки нашли широкое применение при строительстве водохранилищ, хвостохранилищ, облицовке дна и откосов каналов различного назначения, устройства гидроизоляции полигонов складирования отходов.

Одним из перспективных путей расширения области применения геосинтетических материалов является их использование в качестве противофильтрационных элементов в дамбах хвостохранилищ в районах крайнего севера. В этих районах, как правило, отсутствуют в достаточном количестве грунтовые материалы, пригодные для создания противофильтрационных элементов. Местные материалы, используемые для отсыпки тела дамбы, находятся в многолетнемерзлом состоянии, и их использование вызывает значительные сложности. В то же время, наличие разрабатываемого карьера рудника обеспечивает возможность использования горной массы вскрыши карьера для строительства дамбы хвостохранилища. В этих условиях перспективными оказываются варианты конструкции дамбы с противофильтрационным элементом из геосинтетических материалов и телом дамбы из материалов, перерабатываемых в процессе строительства и работы горнорудного предприятия.

В конструктивном отношении насыпные дамбы наливных хвостохранилищ с противофильтрационным элементом из геомембраны представляют собой каменнонабросные плотины с экраном или диафрагмой из геосинтетического материала.

Отличие дамб хвостохранилищ от плотин водохозяйственных и энергетических гидроузлов состоит в том, что емкость образованного дамбой хвостохранилища накопителя планомерно заполняется не только жидкой, но и твердой составляющей пульпы, осаждаемой в накопителе. Уровень воды и хвостов, как правило, непрерывно повышается в течение всего срока эксплуатации хвостохранилища, достигая максимума в момент завершения срока эксплуатации, в связи с чем особую значимость приобретает разделение сооружения на очереди строительства. Учитывая это, большинство насыпных дамб наливных хвостохранилищ строятся с

Лупачев О.Ю., Телешев В.И. Противофильтрационные элементы из геомембран. Опыт применения в гидротехническом строительстве

экранами. Диафрагмы в дамбах хвостохранилищ устраивают преимущественно при особо неблагоприятных инженерно-геологических и природно-климатических условиях площадки строительства.

Геосинтетические материалы обладают достаточной долговечностью. Изготовители дают гарантию на материал в течение 50 и более лет.

Температура, при которой возможна эксплуатация геосинтетических материалов, находится в пределах от минус 70 до плюс 50°С, что позволяет применять геомембраны в любых природно-климатических зонах.

Наиболее уязвимым местом в конструкциях из пленочных материалов являются стыки полотнищ. Необходимость качественного выполнения большого количества стыков кромок полотнищ многие десятилетия являлась основным фактором, сдерживающим применение пленочных противофильтрационных элементов при строительстве ответственных сооружений.

На практике использовались и используются следующие конструкции стыков полотнищ пленки.

1. Перехлест полотнищ или, как модификация этого метода, скрутка краев. Перехлест полотнищ и скрутка краев являются самыми простыми, но наименее надежными способами соединения. Применяются в случаях, когда величина фильтрационных потерь воды не является определяющим критерием работы противофильтрационного элемента. Стыки, выполненные таким способом, имеют малую прочность.
2. Склейка краев при помощи клеящих лент. Обеспечивает полную водонепроницаемость стыков. Высокотехнологична, однако в производственных условиях эффективность применения этого метода снижается при неизбежном загрязнении поверхности пленки.
3. Склейка краев при помощи клеев и мастик. Наиболее распространена при использовании поливинилхлоридных пленок. Обеспечивает полную водонепроницаемость стыков. Требует тщательного контроля качества выполнения работ при склеивании.
4. Сварка термомоноконтактным способом. Применяется для соединения полотнищ из полиэтилена. Современные способы термомоноконтактной и экструзивной сварки позволяют осуществлять простой и эффективный инструментальный контроль качества сварных швов. Как правило, в производственных условиях осуществляется выборочный контроль толщины листа поставляемых пленочных материалов, а также прочность и непроницаемость устраиваемых в процессе работы швов. Это наиболее перспективный способ, поэтому в современном плотиностроении широкое распространение получили листовые и рулонные материалы из полиэтилена. Однако в производственных условиях для пленок толщиной менее 1,0 мм весьма затруднительно добиться хорошего качества сварного шва.

Также важен вопрос защиты геомембраны от неблагоприятных воздействий окружающей среды. Это, в первую очередь, защита от ледовых воздействий и снижение деформаций геомембраны при осадках основания и упорных призм дамбы. Наибольшая степень защиты геомембраны достигается при ее применении в качестве диафрагмы. При этом следует учитывать, что дамбы с диафрагмой требуют выполнения относительно больших объемов работ при строительстве первой очереди, обеспечивающей пуск предприятия и возможность работы в течение 1-2 лет. Применение геомембраны в качестве экрана обеспечивает ряд технологических преимуществ, главные из которых состоят в существенном сокращении пусковых объемов работ и возможности отсыпки тела дамбы в виде единой упорной призмы.

Ниже приведен современный пример строительства дамбы хвостохранилища в России в условиях Крайнего Севера, в котором один из авторов статьи принимал непосредственное участие, являясь одним из авторов проекта и техническим руководителем строительства, – строительство дамбы хвостохранилища горно-металлургического комбината на месторождении «Лунное» в Магаданской области в бассейне р. Колымы.

Инженерно-геологические и природно-климатические условия площадки строительства дамбы можно охарактеризовать как крайне неблагоприятные. В связи с этим было принято решение о строительстве дамбы хвостохранилища с противофильтрационным элементом в виде диафрагмы и понура, расположенного в основании верховой упорной призмы дамбы. Принятая конструкция обеспечивает наибольшую защиту противофильтрационного элемента от воздействия неблагоприятных факторов. Основное внимание в данном проекте уделялось обеспечению надежности возводимого сооружения.

Хвостохранилище «Лунное» овражного типа, образовано ограждающей дамбой высотой 39,5 м, III класса капитальности.

Климат района резко континентальный. Зима суровая и продолжительная. Количество дней с отрицательными температурами более 232. Средняя многолетняя температура составляет минус 11,5°С.

В геологическом отношении в створе дамбы основание и склоны долины сложены делювиально-солифлюкционными дресвяно-щебенистыми грунтами с супесью, суглинком и песком. Многолетнемерзлые грунты распространены повсеместно. Грунты сильно льдистые за счет линзовых и жильных льдов, находятся в многолетнемерзлом состоянии. Подрусловой талик отсутствует.

В 1999-2000 гг., в период проектирования и начала строительства дамбы хвостохранилища на месторождении «Лунное», в технической литературе отсутствовали публикации, содержащие информацию об опыте строительства в северной природно-климатической зоне России высоких плотин с противофильтрационным элементом из геомембраны, водонепроницаемым элементом которой является толстая полиэтиленовая пленка. В то же время было известно о широком применении толстых полиэтиленовых пленок толщиной 0.5-3,5 мм при строительстве гидротехнических сооружений различного назначения за рубежом.

По первоначальному варианту к строительству была рекомендована дамба хвостохранилища с противофильтрационным элементом из геомембраны, состоящей из трех слоев полиэтиленовой пленки толщиной 0.5 мм, с защитными прокладками из тканого дорнита плотностью 500 г/м<sup>2</sup>. Геомембрана сопрягалась с упорными призмами, отсыпаемыми из дресвяно-щебенистого грунта, посредством переходных зон из песка.

С целью повышения устойчивости геомембраны к повреждению частицами грунта переходных зон и сокращения сроков строительства пленочного противофильтрационного элемента было принято решение при строительстве применить в составе геомембраны полиэтиленовую пленку большей толщины по сравнению с первоначальным проектом.

Опыт выполнения работ на других объектах с использованием толстой полиэтиленовой пленки, укладываемой в один слой, позволял сделать предварительный вывод о том, что такие однослойные пленки обладают большей устойчивостью к повреждениям частицами грунта по сравнению с многослойными пленками той же суммарной толщины.

Конструкция дамбы представляет собой каменно-набросную плотину с противофильтрационным элементом в виде диафрагмы и понура, выполненных с применением синтетических материалов (геомембраны).

Длина дамбы по гребню 351,6 м, максимальная высота 39,5 м. Заложение верхового откоса 1:2,5, низового 1:2.

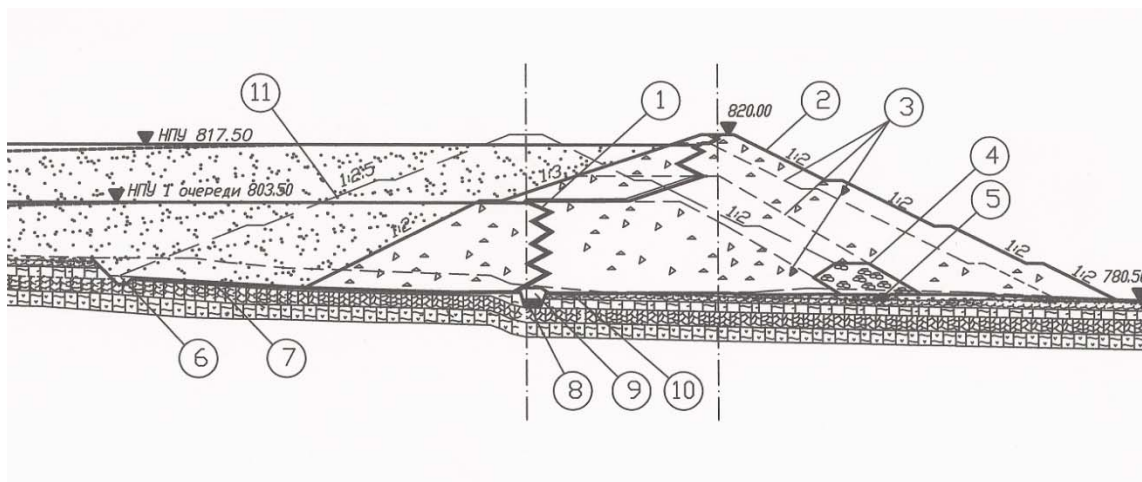
Перед началом строительства второй очереди дамбы в проект были внесены изменения. Учитывая фактически выполненный объем работ по отсыпке первой очереди и невозможность досыпки верхового клина дамбы под уровень воды, диафрагма второй очереди дамбы возводилась с наклоном в сторону нижнего бьефа. Нарращивание дамбы производилось в течение трех лет, вместо одного года по первоначальному проекту, что позволило более рационально распределить во времени объемы работ по строительству и равномерно распределить по годам затраты ГОКа на складирование хвостов.

Основные объемы работ приведены в табл. 1, окончательная конструкция дамбы и противофильтрационных элементов даны на рис. 2.

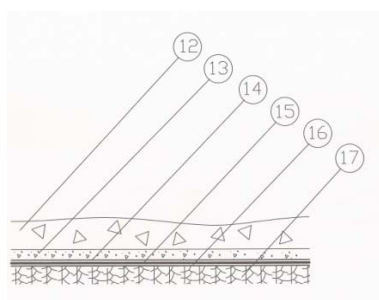
**Таблица 1. Основные объемы работ по дамбе хвостохранилища рудника на месторождении «Лунное»**

№ п/п	Наименование	Ед.изм.	I очередь Отм. 804.0	II очередь Отм. 810.0	III очередь Отм. 818.0	IV очередь Отм.820.0	Всего
1.	Выемка	Тыс. м <sup>3</sup>	150,0	13,5	14,5	6,0	184,0
2.	Насыпь	Тыс. м <sup>3</sup>	220,0	204,0	215,0	127,0	766,0
3.	Площадь геомембраны	Тыс. м <sup>2</sup>	32,0	15,0	10,0	3,5	60,5

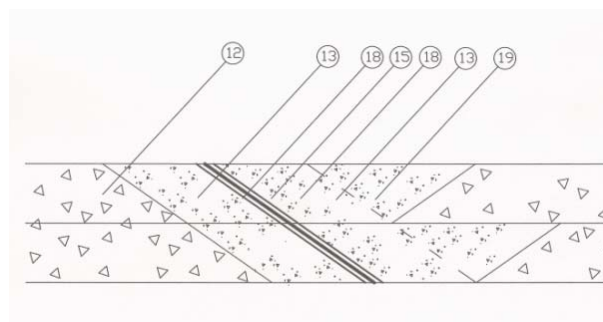




а) поперечное сечение дамбы



б) конструкция понура



в) конструкция диафрагмы

Рисунок 2. Конструкция дамбы хвостохранилища «Лунное»

а) – поперечное сечение дамбы; б) – конструкция понура; в) – конструкция диафрагмы;  
 1 – диафрагма из геомембраны; 2 – конечный профиль отсыпки дамбы; 3 – профили промежуточных очередей отсыпки; 4 – каменно-набросная дренажная призма; 5 – трубчатый дренаж; 6 – замок из суглинки; 7 – понур из геомембраны; 8 – зуб из монолитного железобетона; 9 – замок из суглинки; 10 – обратный фильтр из дорнита; 11 – контур плотины по первоначальному проекту; 12 – переходный слой из деревянно-щебенистого грунта – 0,75мм; 13 – дорнит плотностью 1.0кг/м<sup>2</sup>; 14 – полиэтиленовая пленка 1,5 мм; 15 – дорнит плотностью 0.5 кг/м<sup>2</sup>; 16 – уплотненное естественное основание; 17 – грунт верховой упорной призмы; 18 – грунт низовой упорной призмы

Принципиальная конструкция дамбы осталась прежней. Верховая и низовая призмы отсыпались из материала карьера рудника, а также из местных делювиальных крупнообломочных грунтов, добываемых в ложе будущего хвостохранилища. Для сбора и отвода дренажных вод, профильтровавших через основание дамбы в основании низового клина, предусмотрена отсыпка каменно-набросной дренажной призмы, в которой устроен трубчатый дренаж с электрообогревом.

В центральной части дамбы располагается диафрагма из геомембраны, водонепроницаемый элемент которой выполнен из полиэтиленовой пленки толщиной 1,5 мм. По условиям производства работ диафрагма укладывается зигзагообразно. Для защиты пленки от механических повреждений частицами грунта в конструкции диафрагмы предусмотрена укладка подстилающего и защитного слоев из нетканого дорнита плотностью 500г/м<sup>2</sup>. Для сопряжения геомембраны с упорными призмами дамбы предусматривается отсыпка переходных слоев из мелкозернистого грунта. Сопряжение диафрагмы с основанием производится посредством бетонного зуба, расположенного в траншее, заглубленной в скальное основание на глубину от 1,5 до 4,5 м. Зуб выполнен в виде непрерывной ленты из монолитного бетона, уложенной вдоль оси дамбы. Ширина зуба составляет 4,0 м, высота 1,5 м. Для предотвращения фильтрации в швах зуба установлены уплотнения из полиэтиленовой пленки. Сопряжение бетонного зуба с диафрагмой производится посредством замка из суглинки с дресвой и щебнем, добываемого в карьере рудника. Позади зуба, в зоне выхода фильтрационного потока, профильтровавшего в обход бетонного зуба через скальное основание, устроен обратный фильтр из дорнита.

Продолжением противофильтрационного элемента дамбы в основании является понур из геомембраны. Понур располагается в сторону верхнего бьефа под верхним клином дамбы. По периметру понура Лупачев О.Ю., Телешев В.И. Противофильтрационные элементы из геомембран. Опыт применения в гидротехническом строительстве

геомембрана заделана в неглубокую траншею. Конструкция геомембраны диафрагмы и понура аналогичны. Отличие состоит в том, что защитные прокладки понура имеют плотность 1000 г/м<sup>2</sup>.

Переходные слои вдоль диафрагмы и понура отсыпаны из дресвяно-щебенистого грунта, добываемого в ложе хвостохранилища, прошедшего предварительную сегрегацию, или из суглинка с дресвой и щебнем, добываемого в карьере рудника. Требования к материалу переходных слоев были выработаны на основании опыта применения геомембран из толстой полиэтиленовой пленки.

В проекте был принят метод сварки полотнищ пленки термоконтakтным способом, как наиболее эффективный для полиэтиленовой пленки толщиной 1,5 мм. При производстве работ осуществлялся контроль качества сварных швов в соответствии с международными требованиями.

С целью подтверждения возможности строительства дамбы хвостохранилища с геомембраной принятой конструкции, перед началом строительства дамбы на площадке строительства был организован опытный полигон, на котором проведены опытные работы. На опытном полигоне в условиях реального производства решались следующие задачи:

- проверка в условиях, приближенных к производственным, возможности использования местного дресвяно-щебенистого грунта в качестве грунта переходных зон для принятой в проекте конструкции геомембраны;
- выбор оптимальной толщины отсыпки слоя при формировании переходной зоны, обеспечивающей наименьшую повреждаемость полиэтиленовой пленки в геомембране при строительстве;
- отработка технологии укладки геомембраны с применением на строительстве тяжелой карьерной техники (бульдозера весом 55 т и автосамосвалов грузоподъемностью 26 т).

При проведении опытных работ были приняты следующие ограничения и допущения:

- площадь исследуемых фрагментов геомембраны должна быть максимально большой для исключения влияния на результат опытных работ случайных событий, но позволяющей произвести раскопку геомембраны для ее обследования;
- фрагменты геомембраны и условия их нагружения принимаются соответствующими условиям работы геомембраны в понуре дамбы;
- полученные в ходе опытных работ результаты распространяются на всю конструкцию геомембраны в дамбе;
- надежность исследуемой конструкции оценивается по наличию или отсутствию прорывов полиэтилена, без определения каких-либо количественных параметров, характеризующих прочность и надежность геомембраны;
- для выполнения технологических операций на опытном полигоне используются те же строительные машины и технологические приемы, что и при строительстве дамбы;

Конструкция, испытанная на опытном полигоне, соответствует конструкции понура дамбы, представленной на рис. 2 б).

В качестве изменяемого параметра исследовалось влияние толщины переходного слоя на повреждаемость геомембраны частицами грунта.

В качестве метода контроля, позволяющего говорить об успешном проведении опытных работ и возможности реализации проекта дамбы хвостохранилища с геомембраной в условиях конкретного строительства, выбран визуальный контроль повреждений полиэтиленовой пленки геомембраны при обследовании образцов, извлеченных из грунта.

Критерием надежности геомембраны по результатам проведения опытных работ принято условие отсутствия прорывов полиэтиленовой пленки.

Предпосылка получения положительного результата в ходе выполнения опытных работ – повышенное содержание в грунте заполнителя и, следовательно, высокая пластичность грунта, применяемого для отсыпки переходных зон.

Ожидаемый результат опытных работ – подтверждение надежности принятой конструкции геомембраны в конкретных условиях строительства, либо экспериментальное подтверждение необходимости разработки дополнительных мероприятий, обеспечивающих надежность геомембраны.

В проведении опытных работ принимали участие специалисты компании ООО «Гидрокор», имеющие большой опыт в устройстве пленочных противодиффузионных элементов гидротехнических сооружений различного назначения.

Непосредственно опытные работы включали в себя:

- укладку геомембраны на подготовленную поверхность основания;
- засыпку геомембраны грунтом переходного слоя различной толщины;
- уплотнение отсыпанного слоя груженным автосамосвалом за 10 проходов по одному следу, вследствие чего геомембрана подвергалась действию статической и динамической нагрузки;
- раскапывание грунта засыпки с извлечением фрагментов геомембраны;
- визуальное обследование извлеченных образцов пленки с оценкой повреждений и деформаций
- анализ и составление актов обследований;
- формирование общих выводов и составление рекомендаций, направленных на улучшение сохранности полиэтиленовой пленки.

Для выполнения строительных элементов технологии работ на полигоне были задействованы 6 единиц строительных машин, в том числе: погрузчик с емкостью ковша 4,5 т, бульдозер весом 17 т, бульдозер весом 55 т, автосамосвалы грузоподъемностью 26 т.

Для производства опытных работ из смеси карьерных грунтов был сформирован бурт грунта с влажностью, близкой к оптимальной, объемом  $1000\text{ м}^3$ , видимый на заднем плане фотографии опытного полигона (рис. 3). Проведению опытных работ предшествовала подготовка основания, которая заключалась в разработке котлована в соответствии с требованиями проекта, выравнивании основания бульдозером и укатке груженным автосамосвалом. В местах сосредоточения гнезд камней производилась подсыпка мелкозернистого грунта с последующим его разравниванием и уплотнением. Выступающие на поверхности основания камни убирались вручную. На подготовленное таким образом основание укладывались исследуемые фрагменты геомембраны.

Производственные условия на площадке строительства позволили заложить четыре исследуемых фрагмента геомембраны площадью  $50,0\text{ м}^2$  каждое. Процесс закладки на опытном полигоне исследуемых образцов геомембраны на подготовленное основание в котловане дамбы показан на рис. 4.

Отработка технологии устройства переходного слоя выполнялась в процессе проведения опытных работ на фрагменте №1, расположенном со стороны размещения бурта карьерного грунта.

В процессе выполнения работ по засыпке фрагмента №1 производилось обучение персонала, участвующего в проведении опытных работ, основным приемам работ по устройству геомембраны. Другой решаемой задачей было приобретение механизаторами основных навыков, необходимых для работы по засыпке геомембраны грунтом. Толщина отсыпаемого переходного слоя для образца №1 составляла 0,5 м.

Лупачев О.Ю., Телешев В.И. Противофильтрационные элементы из геомембран. Опыт применения в гидротехническом строительстве



Рисунок 3. Закладка на опытном полигоне исследуемых фрагментов геомембраны



Рисунок 4. Разгрузка грунта из автосамосвала на пленку «щадящим способом»



Рисунок 5. Нагружение фрагментов геомембраны перемещением по поверхности грунта груженого автосамосвала



При этом были отработаны основные технологические операции по устройству переходного слоя:

- заезд грунтового автосамосвала на карту;
- разгрузка грунта из самосвала на пленку «щадящим способом», исключающее падение комьев грунта при разгрузке из кузова автосамосвала непосредственно на геомембрану (рис. 4);
- распределение завезенного грунта по поверхности геомембраны бульдозером.

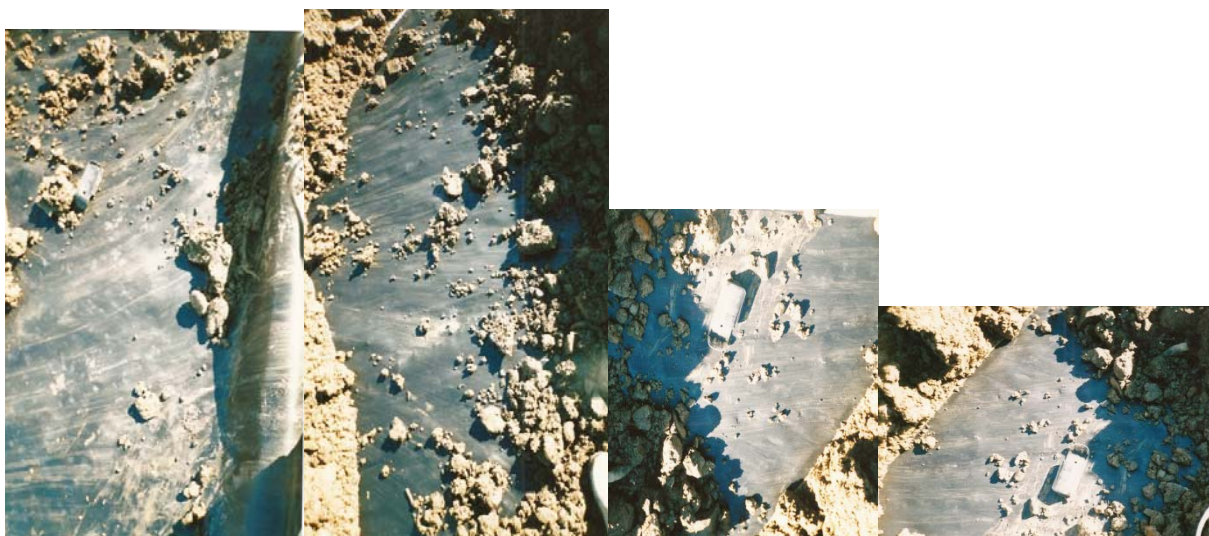
На трех других фрагментах исследовалось влияние толщины отсыпаемого переходного слоя на повреждаемость геомембраны. Выполнялась та же последовательность операций, что и для первого образца. Изменяемым параметром была толщина переходного слоя, составляющая соответственно для образцов №2, №3 и №4: 0,5 м, 0,75 м, 1,0 м.

Затем геомембрана была подвергнута воздействию нагрузки от 10 проходов груженого автосамосвала по одному следу. Одновременно производилась укатка всего полигона. Процесс нагружения геомембраны перемещением по поверхности грунта груженого автосамосвала показан на рис. 5.

Всего в ходе опытных работ на подготовленное основание было уложено 200 м<sup>2</sup> геомембраны с защитными прокладками из дорнита и отсыпано около 500 м<sup>3</sup> грунта засыпки.

Затем геомембрана была раскопана. Извлеченные фрагменты были осмотрены. Пригодным к осмотру было признано около половины площади извлеченных фрагментов пленки, что составило 100 м<sup>2</sup>.

Характерный вид фрагментов полиэтиленовой пленки, извлеченной из грунта, представлен на рис. 6.



**Рисунок 6. Характерный вид фрагментов полиэтиленовой пленки, извлеченной из грунта**

При осмотре извлеченных фрагментов геомембраны было зафиксировано следующее.

- На извлеченной из грунта полиэтиленовой пленке были отчетливо видны следы воздействия крупных частиц грунта. Большая часть поверхности геомембраны была деформирована в большей или меньшей степени. Особенно сильные деформации наблюдались в местах контакта геомембраны с отдельными крупными частицами или гнездами крупных частиц грунта засыпки. В местах такого контакта на пленке образовались пузыри диаметром до 200 мм, но разрывов пленки зафиксировано не было.
- Прорывов дорнита как подстилающего, так и покрывающего пленку слоя зафиксировано не было.
- Зафиксировано несколько точечных проколов геомембраны остроугольными частицами грунта. Проколы не пропускали солнечный свет, но проявлялись при опробовании керосином.
- Отмечено, что в случае образования прокола геомембраны частицей остроугольной формы, проколовшая геомембрану частица оказывалась прочно зафиксированной в образованном ей пузыре в геомембране.
- Отмечено, что при толщине слоя переходной зоны 0,5 и 1,0 м полиэтиленовая пленка испытала относительно большую деформацию, чем при толщине слоя 0,75 м. При толщине слоя 0,5 м сказывалось наличие в грунте крупных включений, передающих на пленку повышенное давление. При толщине слоя отсыпки 1,0 м началась концентрация крупных включений в слое, непосредственно прилежащем к геомембране, за счет сегрегации на формируемом откосе при распределении грунта по поверхности пленки.



- Зафиксировано положительное влияние избытка мелкозема в грунте переходных зон на уменьшение деформаций геомембраны. Обследование основания под геомембраной наглядно показало, что количество мелкозема в грунте переходной зоны является существенно более значимым фактором для обеспечения сохранности геомембраны, чем абсолютный размер крупных частиц грунта.

По результатам анализа выполненных опытных работ для строительства дамбы сформулированы следующие рекомендации:

- оптимальная высота переходного слоя составляет 0,75 м;
- карьерный грунт, используемый для отсыпки переходных зон, следует подвергать предварительной сегрегации;
- для отсыпки переходных слоев следует применять верхний, обогащенный мелкоземом слой сегрегированного грунта.

Строительство дамбы осуществлялось с учетом рекомендаций, полученных при проведении опытных работ в период с 2000 по 2004 г.

Первая очередь дамбы была принята в эксплуатацию в 2001 г. с положительной оценкой решений по конструкции, технологии и эксплуатационным качествам сооружения. Гидротехническая и экологическая службы предприятия ведут постоянный контроль фильтрационного расхода через створ сооружения и уровня загрязнения долины ниже хвостохранилища. Отмечается, что фильтрационный расход через створ дамбы стабильный. Дренажные воды не содержат взвешенных веществ. Загрязнения долины веществами, складываемыми в хвостохранилище, не обнаружено. В настоящее время сооружение построено и успешно эксплуатируется.

### Общие выводы

1. Применение геосинтетических материалов в качестве противофильтрационных элементов находит все более широкое распространение.
2. Одной из перспективных областей является применение геосинтетических материалов при строительстве дамб хвостохранилищ в северной природно-климатической зоне.
3. Опыт строительства дамбы хвостохранилища на месторождении «Лунное» позволяют предложить рациональные конструкции дамбы и технологию работ, которые могут быть рекомендованы для применения на других объектах.

### Литература

1. Лупачев О.Ю., Телешев В.И. Применение геосинтетических материалов в гидротехническом строительстве в качестве противофильтрационных элементов плотин и дамб // Гидротехника, №1 (14). СПб., 2009. С. 71-75.
2. Глебов В.Д., Кричевский И.Е. Судаков В.Б. Лысенко В.П. Толкачев Л.А. Пленочные противофильтрационные устройства гидротехнических сооружений. М., 1976.
3. Лысенко В.П. Конструкции противофильтрационных пленочных экранов грунтовых плотин. Л., 1975.
4. Радченко В.П., Семенов В.М. Геомембраны в плотинах из грунтовых материалов // Гидротехническое строительство, №10. М., 1993.
5. Радченко В.П., Семенов В.М. Применение геосинтетических материалов для строительства плотин // Гидротехническое строительство, №10. М., 1992.
6. СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. М., 1986.
7. СН 551-82. Инструкция по проектированию и строительству противофильтрационных устройств из полиэтиленовой пленки для искусственных водоемов. М., 1988.

*\*Олег Юрьевич Лупачев, Санкт-Петербург*

*Тел. моб.: +7(921)886-74-46; эл. почта: luoleg@mail.ru*