

О. А. Баев (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕНТОНИТОВЫХ МАТОВ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЖИДКИХ ОТХОДОВ

Проанализированы основные свойства бентонитовых матов, представлен процесс самозалечивания в результате повреждения, а также приведены новые конструкции противофильтрационных покрытий с применением бентоматов и различных защитных покрытий из грунта, габионов, георешетки и дренажным слоем.

Ключевые слова: бентонитовые маты, противофильтрационные покрытия, накопители отходов, конструкции экранов, геосинтетические материалы.

О. А. Bayev (FSBSE “RSRILIP”)

ANTIFILTRATION LINING USING BENTONITIC MATS FOR LIQUID WASTE ACCUMULATORS

The main features of bentonitic mats were analyzed. Self-healing process after damage was shown. The new design of anti-filtration lining using bentonitic mats and different protective linings made from ground, gabions, geo-grid, and drainage layer is cited.

Keywords: bentonitic mats, anti-filtration lining, waste accumulators, design screens, geosynthetic materials.

Начиная с середины XX века по настоящее время достаточно остро стоят проблемы негативного влияния различных накопителей жидких отходов (прудов-накопителей, золоотвалов, хвостохранилищ, шламохранилищ и других) на окружающую природную среду и загрязнение грунтовых вод.

Для противофильтрационной защиты накопителей стали широко применяться пленочные экраны из полиэтиленовой пленки низкой плотности по ГОСТ 10352-82 толщиной 0,2-0,3 мм, которые сверху покрывались защитным слоем из грунта толщиной от 0,5 до 1,0 м. Их широкому распространению послужили исследования И. Е. Кричевского, В. Д. Глебова, В. П. Лысенко, А. И. Бельшева, В. А. Бородина, В. П. Недриги, В. М. Павловского, Ю. М. Косиченко, А. В. Ищенко, В. А. Белова, И. М. Елшина, А. Г. Алимова и других [1].

Однако в процессе строительства и эксплуатации накопителей с пленочными экранами выяснились недостатки таких конструкций: воз-

возможность сравнительно легкой повреждаемости тонкого противofильтрационного элемента (пленки) строительными механизмами при устройстве защитного слоя грунта, некачественное соединение отдельных полотнищ пленки при сварке, нарушения структуры, а в ряде случаев целостности пленки при вдавливании относительно крупных фракций грунта (более 5 мм). Все это потребовало поиска новых более эффективных полимерных материалов, к которым можно отнести геомембраны из полиэтилена низкой и высокой плотности толщиной 1-3 мм [2], бентоматы с использованием геотекстилей и заполнителя из натриевого или кальциевого бентонита, геокомпозиаты, включающие в одном материале комбинацию геомембраны и геотекстиля, и другие.

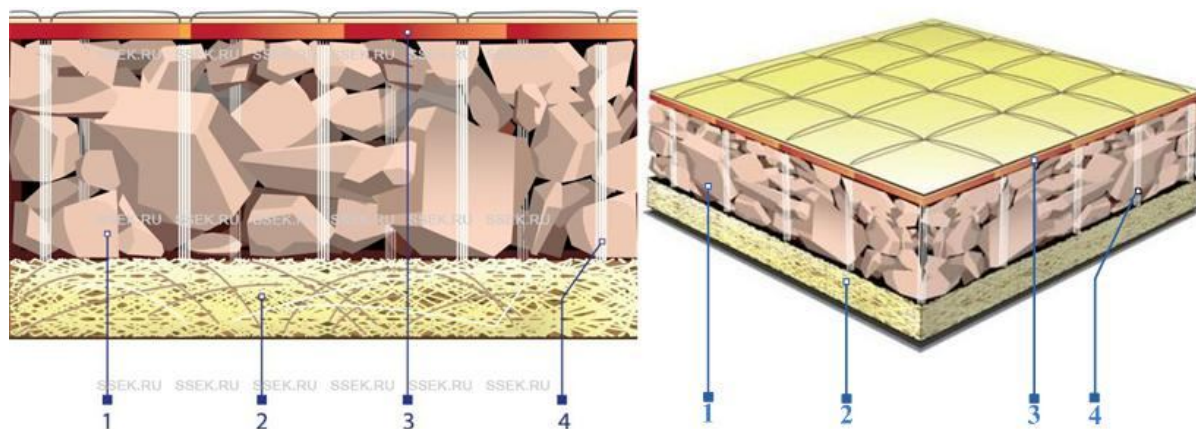
Именно это последнее поколение противofильтрационных материалов обеспечивает высокую надежность и практически полную герметичность новых конструкций противofильтрационных экранов, что особенно важно для накопителей жидких отходов, поскольку любые утечки сточных вод из них, даже самые незначительные, приводят к загрязнению грунтовых вод.

Бентонитовые маты (БМ) – современный геотекстильный (геокомпозиционный) гидроизоляционный материал на основе бентонита (бентонитовой глины) [3].

Конструкционные особенности их зависят от конкретной марки. Как правило, речь идет об иглопробивном каркасе из тканых и нетканых полипропиленовых полотен, между которыми заключены гранулы натриевого или кальциевого бентонита. Полотна соединены между собой поперечным иглопробивным способом, что обеспечивает прочность и эластичность конструкции, а также равномерное распределение гранул бентонита внутри каркаса и их фиксацию (рисунок 1) [4].

Натриевый бентонит – одна из разновидностей глин природного происхождения. Принцип действия материалов основан на свойстве бен-

тонита при гидратации разбухать и увеличиваться в объеме (до 12-14 раз). Когда этот процесс происходит в замкнутом пространстве, возникает напряженное состояние в структуре образовавшегося геля, за счет чего достигается водонепроницаемость материала.



1 – гранулы бентонита; 2 – нетканый геотекстиль;
3 – тканый геотекстиль; 4 – иглопробивные волокна

Рисунок 1 – Структура бентонитового мата Ventolock

Кроме того, в связи с вышеуказанным свойством за счет образования «бентонитового геля» БМ имеют уникальную способность «самозалечиваться» при механических повреждениях, которые в большинстве случаев неизбежны при перевозке и монтаже материала (рисунок 2).

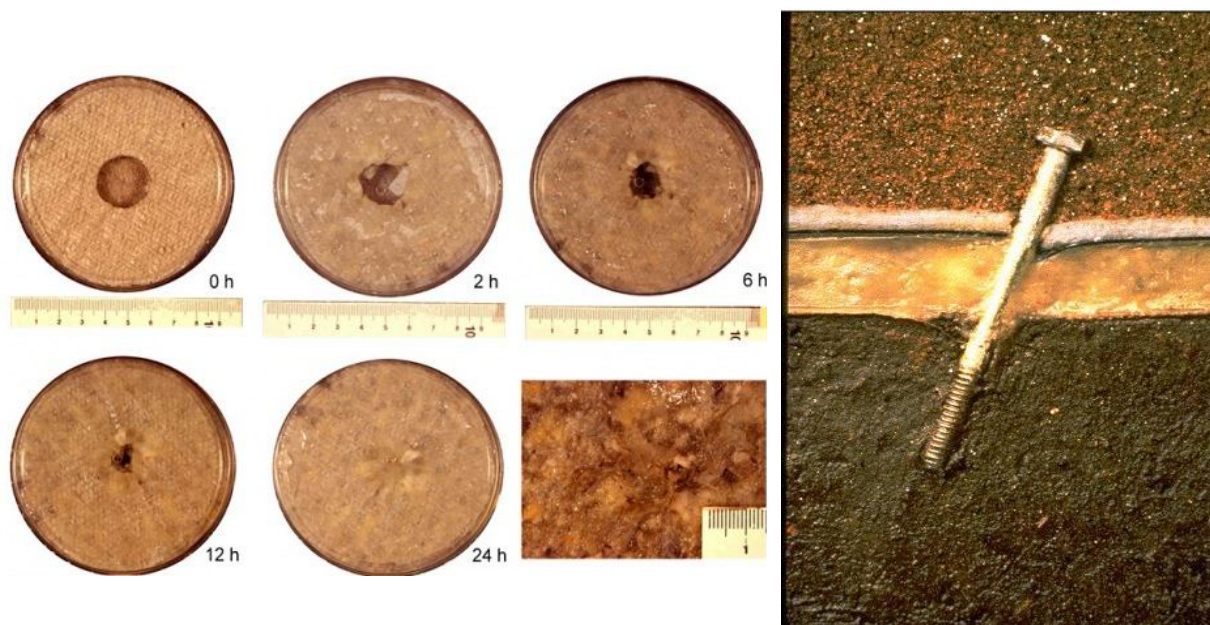


Рисунок 2 – Процесс самозалечивания отверстия в бентонитовом мате в течение суток

Данные материалы выпускаются такими известными фирмами как *NAUE*, *NaBento*, *GSE* (Германия), *Техностройтекс* (Беларусь), *SETCO* (Польша), *Carpi* (Швейцария), *VOLTEX*, *Изобент*, *Bentolock* (Россия), *Nilex* (Канада) и другими. Большие работы в области выпуска и укладки материалов на различных сооружениях проводит фирма *NAUE* (Германия) [5].

В настоящее время существует большое разнообразие конструкций противофильтрационных экранов каналов и водоемов с применением геосинтетических материалов.

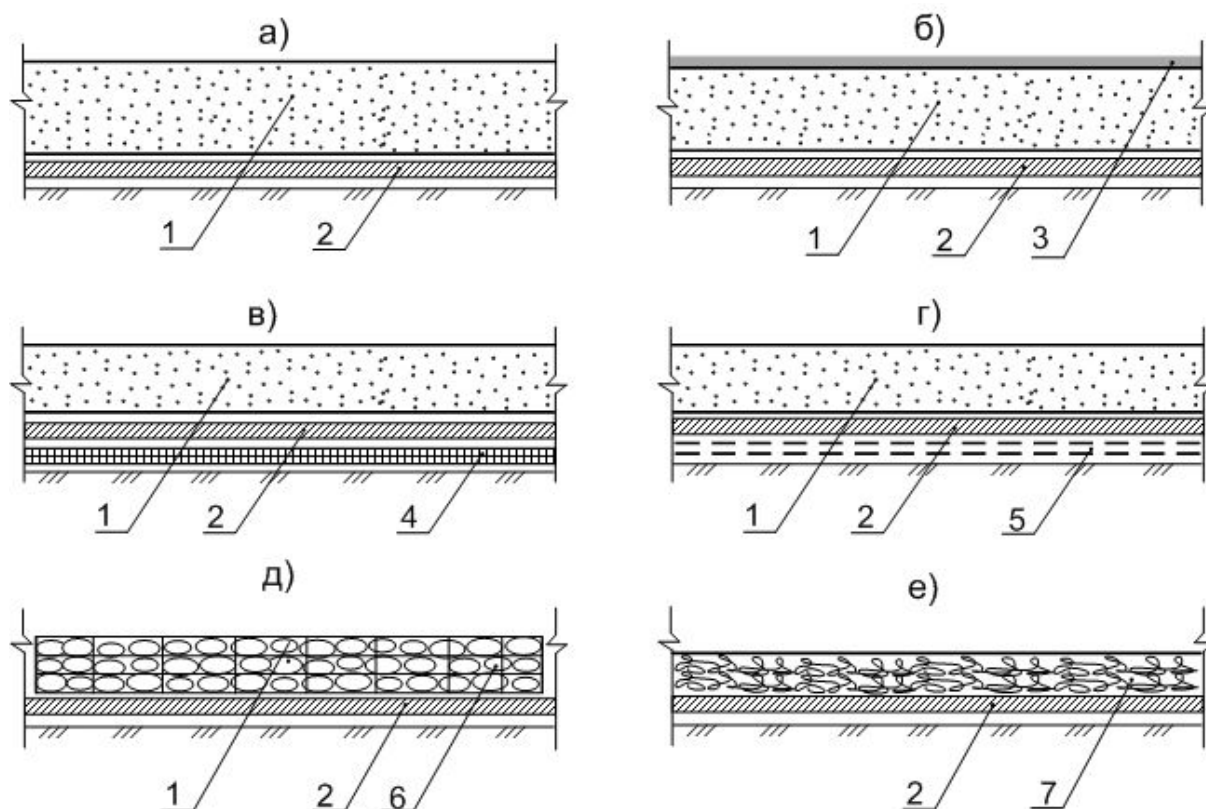
В 2000 году специально для изучения свойств геосинтетиков был учрежден Федеральный институт исследования геосинтетических материалов в Берлине (ВАМ). Одной из задач работы института является определение срока службы бентонитовых матов и получение доказательств регенерации повреждений БМ [6].

На основании обобщения зарубежного и отечественного опыта применения геотекстильных материалов в гидротехническом строительстве (компании *NAUE*, *VOLTEX*) автором предлагаются усовершенствованные конструкции противофильтрационных покрытий с использованием бенто-матов (рисунок 3), которые могут применяться на накопителях промышленных и бытовых отходов.

Конструкции покрытий с БМ и защитным покрытием из грунта (рисунок 3, а) целесообразно применять по дну на накопителях промышленных и бытовых отходов, на слабопросадочных и среднепросадочных основаниях с максимальной величиной просадки до 1 м.

Для варианта конструкции на рисунке 3, б производится закрепление грунта на откосах полимерной эмульсией М10 + 50 на акриловой основе [7]. Обработка полимерным стабилизатором позволяет увеличить модуль упругости и прочностные характеристики грунта. Укрепленный грунт будет обладать высокой прочностью, морозостойкостью и водостойкостью. В качестве армирующего материала используется геосетка

(рисунок 3, в). Такую конструкцию целесообразно применять по дну на слабых основаниях.



а – с защитным покрытием из грунта; б – с защитным покрытием из грунта и полимерным закрепителем поверхности; в – с защитным покрытием из грунта и армирующим слоем из геотексти; г – с защитным покрытием из грунта и дренажным слоем; д – с защитным покрытием из габионов; е – с защитным покрытием из георешетки;

1 – защитное покрытие; 2 – противofильтрационный элемент из бентонитовых матов; 3 – полимерный закрепитель грунта; 4 – геотексти; 5 – дренажный слой из двух, трех слоев геотекстиля высокой плотности; 6 – габионы; 7 – георешетка из лабиринтоподобно расположенных нитей

Рисунок 3 – Конструкции противofильтрационных покрытий с использованием бентоматов

Конструкция покрытия с дренажом (рисунок 3, г) обеспечивает полную водонепроницаемость. Наличие в конструкции дренажного слоя из 2-3 слоев геотекстиля высокой плотности ($1000-1200 \text{ г/м}^2$) позволяет снижать градиенты напора в нижнем его малопроницаемом слое до значений, близких к единице при нормальном атмосферном давлении в дренажном слое, и до нуля при искусственном поддержании в дренажном слое вакуума [8].

Величина вакуума, необходимая для полного исключения фильтра-

ции через нижний слой экрана, определяется по формуле [8]:

$$p = n\rho(\delta_n + h_{\text{макс}}), \quad (1)$$

где $n = 1,2$ – коэффициент запаса;

ρ – плотность жидкости, содержащейся в накопителе;

δ_n – толщина нижнего слоя экрана;

$h_{\text{макс}}$ – максимальная глубина фильтрационного потока в дренажном слое.

Применение такого покрытия целесообразно при складировании отходов, содержащих высокотоксичные загрязнения. Покрытие можно использовать как на дне накопителя, так и на его откосах.

На рисунке 3, д представлена конструкция противофильтрационного покрытия с защитным слоем из габионов матрасного типа толщиной 0,17-0,3 м и длиной до 6 м. Они применяются для откосов сооружений заложением не более 1:3. Укладка габионов позволяет повысить производительность работ.

Конструкция противофильтрационной облицовки с применением в качестве защитного покрытия георешетки из лабиринтоподобно расположенных нитей показана на рисунке 3, г. Данная конструкция применима на откосах. Коэффициент заложения откосов рекомендуется принимать не менее 1:3. Конструкция обладает рядом достоинств, например, высокой стойкостью к пучению и суффозии грунта.

Предложенные конструкции отличаются большой деформационной способностью и гибкостью, а также обеспечивают высокие противофильтрационные свойства. Прогнозный срок службы противофильтрационных покрытий с применением БМ составляет более 100 лет.

Вероятность безотказности противофильтрационного покрытия при совместной работе системы «гибкое покрытие-основание» можно рассчитать по формуле теории надежности [10]:

$$P = \Phi \left(\frac{\Delta_{\text{доп}} - \Delta_{\text{max}}}{\sqrt{\delta_{\text{доп}}^2 + \delta_{\text{max}}^2}} \right), \quad (2)$$

где $\Delta_{\text{доп}}$ – допускаемое значение деформации покрытия вследствие пучения или набухания грунта основания;

Δ_{max} – расчетное максимальное значение деформации покрытия при совместной его работе с грунтовым основанием;

$\delta_{\text{доп}}, \delta_{\text{max}}$ – среднеквадратические отклонения соответственно допускаемых и расчетных максимальных деформаций покрытия;

Φ – функция нормированного нормального распределения (функция Лапласа):

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-t^2} dt. \quad (3)$$

Общие критерии технической эффективности и эксплуатационной надежности противодиффузионных покрытий, предлагаемых автором, могут быть представлены аналогично работе Ю. М. Косиченко, А. В. Ломакина [10] в виде:

- по деформируемости конструкции:

$$\Delta_{\text{max}} \leq \Delta_{\text{доп}};$$

- по водонепроницаемости противодиффузионного покрытия:

$$k'_{\text{пок}} \leq k_{\text{доп}};$$

- по вероятности безотказной работы покрытия в целом:

$$P \geq P_{\text{нор}};$$

- по сроку службы покрытия:

$$\tau \geq \tau_{\text{нор}},$$

где Δ_{max} – расчетные максимальные деформации основания;

$\Delta_{\text{доп}}$ – допускаемые деформации покрытия;

$k'_{\text{пок}}$ – осредненный коэффициент фильтрации покрытия;

$k_{\text{доп}}$ – допускаемый коэффициент фильтрации противотрассационного покрытия с бентоматами, составляющий по данным фирмы *NAUE* – 10^{-11} см/с;

$P, P_{\text{нор}}$ – расчетная и нормативная вероятность безотказной работы покрытия в целом;

$\tau, \tau_{\text{нор}}$ – соответственно расчетный и нормативный срок службы покрытия.

По способам скрепления геотекстильных покрытий различают БМ иглопробивные, которые описывались выше (рисунок 4), и клеенные, в которых верхнее и нижнее полотнища из геотекстиля соединены с помощью вязкого клея (рисунок 5) [11].



Рисунок 4 – Иглопробивной тип скрепления геотекстильных покрытий



Рисунок 5 –Склеенный тип скрепления геотекстильных покрытий

Сравнительная характеристика физических свойств различных видов БМ приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Физические свойства бентонитовых матов

Тип скрепления бентонитовых матов	Плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Содержание монтмориллонита (глины)
Склеенный	0,8	475	73
Иглопробивной	0,8	580	75

Выводы.

1 Несмотря на то, что противофильтрационные экраны из бентонитовых матов уже применяются для защиты различного рода накопителей, необходимо совершенствование их конструкций и изучение свойств гидратации, процесса самозалечивания при различной нагрузке.

2 Автором предлагается ряд новых конструкций противофильтрационных покрытий с применением бентоматов и различными защитными покрытиями из грунта, габионов, георешетки, а также армирующими слоями из геосетки и дренажным слоем из двух-трех слоев геотекстиля высокой плотности. Описаны условия их применения в условиях малой и средней деформируемости основания.

3 Для успешного внедрения в практику бентонитовых матов на полигонах и накопителях жидких отходов необходимо выполнить исследования по их работе в зимних условиях, в условиях просадки основания, в случае их повреждения, а также в процессе самозалечивания и гидратации.

Список использованных источников

1 Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин [и др.]. – М., 1988. – С. 86-92.

2 Чернов, М. А. Противофильтрационные конструкции каналов и водоемов с применением геомембран из полиэтилена высокого и низкого давления: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.23.07 / Чернов Михаил Александрович. – М., 2011. – 24 с.

3 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, 2013.

4 «СибСтрой-Экология» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ssek.ru>.

5 NAUE GmbH&Co.KG [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.naue.com>, 2013.

6 Прямицкий, А. В. Bentonитовые маты как альтернативный материал для противofiltrационных элементов гидротехнических сооружений / А. В. Прямицкий, Ю. Шлее // Гидротехника. XXI ВЕК. – № 2. – С. 52-56.

7 Метелкин, В. В. Инновационные методы обработки грунтовых покрытий при подготовке к эксплуатации мелиоративных объектов и мелиоративных защитных сооружений: информационный сборник / В. В. Метелкин. – М., 2008. – С. 29-31.

8 Недрига, В. П. Инженерная защита подземных вод от загрязнения промышленными стоками / В. П. Недрига. – М.: Стройиздат, 1976. – 95 с.

10 Косиченко, Ю. М. Гибкие конструкции противofiltrационных и берегоукрепительных покрытий с применением геосинтетических материалов / Ю. М. Косиченко, А. В. Ломакин // Известия высших учебных заведений. Технические науки. – 2012. – № 2. – С. 73-79.

11 Egloffstein, T. 1995, "Properties and Test Methods to Assess Bentonite Used in Geosynthetic Clay Liners", Geosynthetic Clay Liners, Koerner, R.M., Gartung, E., Zanzinger, H. // Editors, Balkema, proceedings of an international symposium held in Nurnberg, Germany, April 1994. – P. 51-72.

Баев Олег Андреевич – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ»), младший научный сотрудник.

Контактный телефон: 8(8635) 26-65-00.

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Bayev Oleg Andreyevich – Federal State Budget Scientific Establishment "Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems" (FSBSE "RSRILIP"), Junior Researcher.

Contact telephone number: 8(8635) 26-65-00.

E-mail: rosniipm@yandex.ru