

УДК 556.324:502.51

**А. В. Ищенко, О. А. Баев (ФГБОУ ВПО «НГМА»)**

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕНТОНИТОВЫХ МАТОВ**

Анализ зарубежной литературы позволил выделить основные приборы и методики испытаний физико-механических свойств геосинтетических бентонитовых матов, применяемых для защиты грунтовых вод от загрязнения. Представлен состав, основные физико-технические характеристики бентонитовых матов и область их применения. Приведены основные формулы для расчета прочности на разрыв, а также скорости утечки в результате дефекта.

Ключевые слова: геосинтетические бентонитовые маты, грунтовые воды, загрязнение, скорость утечки, экранирование.

**A. V. Ishchenko, O. A. Bayev (FSBEE HPE “NSMA”)**

## **ANALYSIS OF AVAILABLE METHODS FOR TESTING PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF GEOSYNTHETIC CLAY LINERS**

Analysis of foreign literature made it possible to choose main instruments (devices) and methods for testing physical and mechanical characteristics of geosynthetic clay liners used to protect groundwater from pollution. The main physical and mechanical characteristics and fields of their application are presented. Main formulas to calculate breaking strength as well as leakage velocities as a result of defects are given.

Keywords: geosynthetic clay liners, groundwater, pollution, leakage velocity, screening.

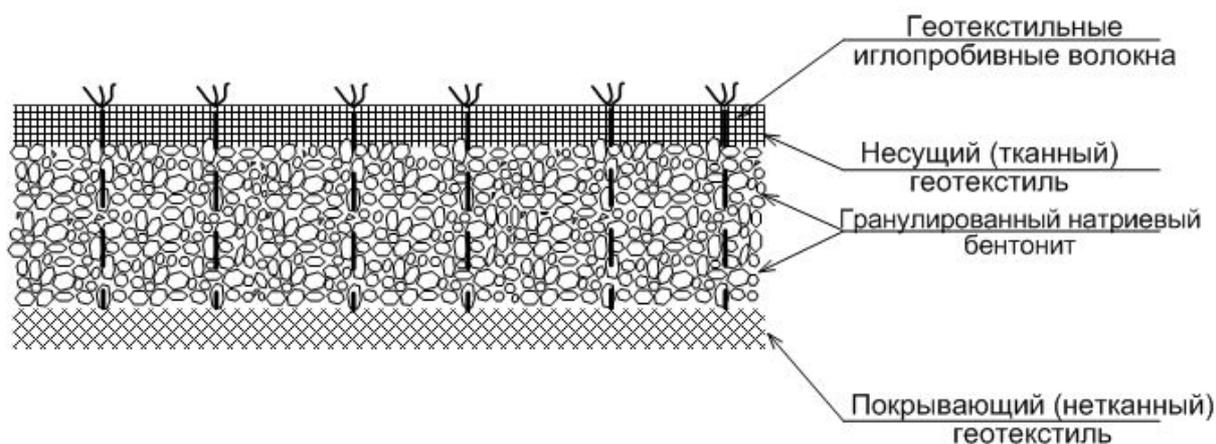
В настоящее время человечество активно занимается строительством различных конструкций, направленных на достижение максимального удобства при минимальном использовании пространства. Результатом данных работ стали всевозможные торговые комплексы, стоянки, полигоны захоронения отходов и прочие сооружения. При проектировании таких объектов необходимо обязательно использовать качественную гидроизоляцию, которая смогла бы эффективно защищать не только саму постройку, но и грунтовые воды от проникновения в них загрязняющих веществ.

Всем известен метод гидроизоляции «глиняный замок», широко применявшийся вплоть до конца XIX века. При применении данного метода гидроизоляции создавался слой перемятой и плотно утрамбованной глины толщиной 26-31 см, который предназначался для защиты загрязнен-

ного фильтрата от контакта с грунтовыми водами.

Сегодня на смену «глиняным замкам» пришли бентонитовые маты, обладающие достоинством «глиняного замка», и вместе с тем более экономичные и технологичные в укладке.

Бентонитовые маты (БМ) в соответствии с ГОСТ ASTM D 4439 – рулонный водонепроницаемый материал, состоящий из гранул бентонитовых глин, расположенных между двумя слоями полипропиленового геотекстильного материала (геотекстиля), соединенных между собой иглопробивным способом (рисунок 1) [1].



**Рисунок 1 – Поперечное сечение бентонитового мата**

Натриевый бентонит – одна из разновидностей глин природного происхождения. Принцип действия БМ основан на свойстве бентонита натрия при гидратации «разбухать» и увеличиваться в объеме (до 14-16 раз).

Данный материал применяется в качестве противодиффузионного экрана для защиты от проникновения в почву, поверхностные и грунтовые воды любых видов загрязняющих веществ.

В ранее опубликованном документе Геосинтетического научно-исследовательского института Филадельфии (2005 год) «Спецификация, методы испытаний, необходимые свойства и тестирование бентонитовых матов» БМ разделены на 2 группы: армированные и неармированные.

Основным назначением БМ является экранирование грунтов под объектами, представляющими потенциальную угрозу химического или

биологического заражения окружающей среды в результате утечек фильтрата в грунт. Подобные утечки весьма вероятны в процессе эксплуатации широкого спектра промышленных объектов. Последствия утечек химических веществ, нефтепродуктов, а также продуктов разложения бытовых и промышленных отходов, могут приводить к значительному материальному ущербу. Кроме этого, при высокой токсичности фильтрата и попадании его в грунтовые воды может создаваться реальная угроза для здоровья и жизни большого количества людей. В связи с этим при строительстве объектов, на которых могут использоваться или храниться потенциально опасные материалы, обязательной мерой является экранирование грунта.

Основные физико-технические характеристики бентонитовых матов приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Основные физико-технические характеристики бентонитовых матов**

Характеристика	Значение
Ширина, м	1,15-5
Длина, м	5-40
Площадь, м <sup>2</sup>	5,75-200
Толщина, мм	6,4-10
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	> 5000
Коэффициент фильтрации, м/сут.	10 <sup>-9</sup>

Из всего многообразия присущих БМ свойств, для оценки качества и соответствия требованиям потребителей, как правило, выбираются те, которые наиболее полно определяют пригодность их при использовании по прямому назначению.

Свойства БМ оцениваются предприятиями-изготовителями и аккредитованными испытательными центрами (лабораториями). Результаты испытаний зависят от принятых методов, вида и типа испытательного оборудования, приборов, условий испытаний [2].

В процессе проектирования при выборе типа и марки БМ важно знать структурные, механические, физические и гидравлические характеристики, которые в основном зависят от исходного сырья и способа произ-

водства. Номенклатура контролируемых показателей и методы испытаний БМ отличаются в зависимости от области применения (рисунок 2): армирование, фильтрация, разделение и др., поэтому их следует подразделить на общие и специальные.



**Рисунок 2 – Области применения геосинтетических БМ**

Например, прочность на разрыв важна для всех типов геосинтетических материалов, а водопроницаемость, коэффициент фильтрации, размеры пор, устойчивость к пробою, важны для выполнения функции фильтрации, дренажа и разделения.

Существует множество различных методов испытания БМ (ISO 10319, ASTM D4632, ASTM D4595 и др.). Метод ASTM D6496 – стандартный метод испытаний для определения средней прочности склеивания между верхним (тканым) и нижним (нетканым) слоями БМ. Он используется как промышленный метод контроля качества бентонитовых матов для контроля прочности соединения полотен.

На рисунке 3 изображена установка для испытания бентонитовых

матов «Bentofix» на разрыв. Исследуемый образец частично расслоен (на 300 мм с каждой из сторон). Для определения прочности на разрыв проверяются 5 образцов [3].



**Рисунок 3 – Установка для испытания бентонитовых матов на разрыв**

Как правило, тестирование на разрыв БМ выполняется в минимальной частоте одной серии испытаний, каждые 4000 м<sup>2</sup> всего произведенного материала. Бентонитовые маты «Bentofix» тестируются на гораздо более высоких частотах (каждые 2000 м<sup>2</sup>), что рекомендовано ASTM D5889 «Стандартная практика для управления качеством геосинтетических бентонитовых матов».

Образцы БМ проверяются с использованием ASTM D6496 процедуры «Стандартный метод испытаний для определения средней силы склеивания между верхним и нижним слоями бентонитового мата» [4].

Прочность на разрыв определяется по следующей формуле:

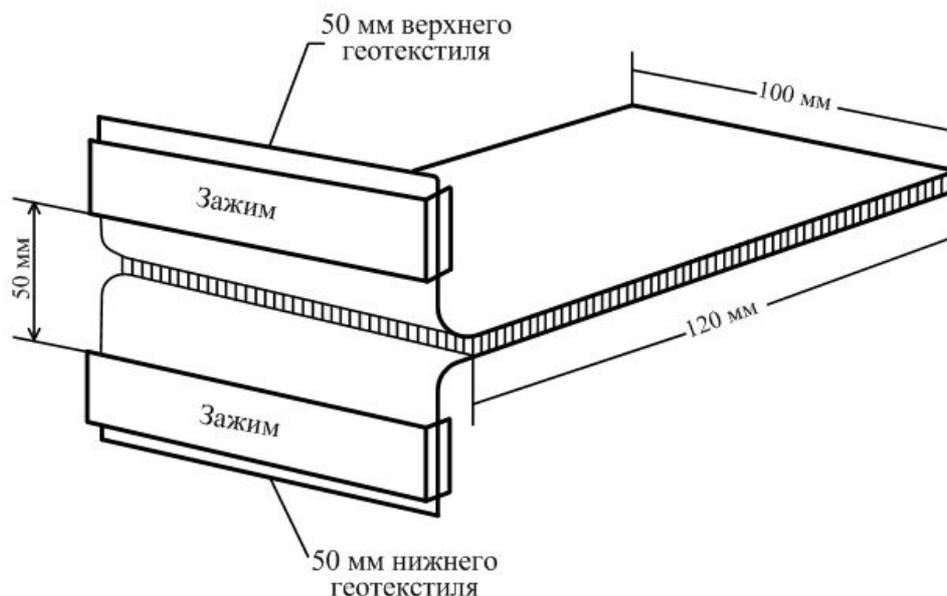
$$\alpha_f = \frac{F_{\text{ср}}}{W_s}, \quad (1)$$

где  $\alpha_f$  – прочность образца на разрыв, Н/м;

$F_{\text{ср}}$  – наблюдаемая средняя сила на захват разделения образца 25-125 мм, Н;

$W_s$  – заданная ширина образца, м.

Образец устанавливают в испытательное устройство таким образом, чтобы верхний зажим держал одну заслонку геотекстиля, а нижний – вторую (рисунок 4). Зажимы должны быть установлены на базовом расстоянии 50 мм друг от друга.



**Рисунок 4 – Тестирование рулона бентонитовых матов**

Главное отличие метода испытания ASTM D6496 по сравнению с другими – это размер выборки.

Тестирование на растяжение образца проводится на постоянной скорости 300 мм/мин.

Если при испытании «Ventofix» значение прочности падает ниже заданного, испытание повторяют на пяти дополнительных образцах, взятых из соседних мест одного рулона тестирования. Если среднее значение пяти образ-

цов превышает указанное значение «Ventofix», рулон считается приемлемым.

Среднее значение прочности на разрыв для бентонитовых матов «Ventofix» составляет около 400 Н/м.

Расход жидкости, который проходит через БМ, может быть определен количественно, чтобы оценить эффективность бентомата как барьера для воды [5]. Расход утечки ( $Q$ ) через бентонитовые маты может быть вычислена из закона Дарси следующим образом:

$$Q = k \cdot \left( \frac{h + t_{\text{бм}}}{t_{\text{бм}}} \right) \cdot A, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент проницаемости бентонита, м/сут.;

$t_{\text{бм}}$  – эффективная толщина БМ, м;

$h$  – высота жидкости над БМ, м;

$A$  – площадь, м<sup>2</sup>.

Утечка в результате дефекта (повреждения) БМ рассчитывается по следующей формуле (Giroud, 1997 г.):

$$Q = 0,976 \cdot C_{q0} \left[ 1 + 0,1 \left( \frac{h}{t_{\text{бм}}} \right)^{0,95} \right] \cdot d^{0,2} \cdot h^{0,9} \cdot k_{\text{бм}}^{0,4}, \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр отверстия, м;

$h$  – напор жидкости в верхней части БМ, м;

$k_{\text{бм}}$  – коэффициент проводимости (проницаемости) БМ;

$t_{\text{бм}}$  – толщина слоя бентонита в БМ, м;

$C_{q0}$  – коэффициент, характеризующий подход фильтрационного потока к круглому отверстию;

$Q$  – коэффициент утечки, м<sup>3</sup>/с.

Коэффициент, характеризующий подход фильтрационного потока к круглому отверстию  $C_{q0}$  является величиной безразмерной.

Исследования ползучести БМ проводились в 1994 г. компанией «NAUE».

Для измерения ползучести БМ был взят образец 1×1 м, который имел следующее сечение (сверху вниз):

- стальные пластины – 25 кН/м<sup>2</sup>;
- щебень гравийный (2-8 мм) слоем 30 см в стальной коробке;
- бентонитовые маты фирмы «Bentofix», в которых нижний геотекстиль прикреплен к стальной пластине [6].

Во время испытания весь аппарат постепенно наклоняется (угол наклона 25°) (рисунок 5).

Тестирование было начато 17 апреля 1994 года и продолжалось до 1 декабря 1998 года, общее время испытания составило более 40800 часов. В результате исследований было установлено, что БМ не склонны к ползучести и устойчивы к долгосрочным деформациям при низких нагрузках. Это обеспечивается благодаря иглопробивным волокнам, скрепляющим слои БМ.



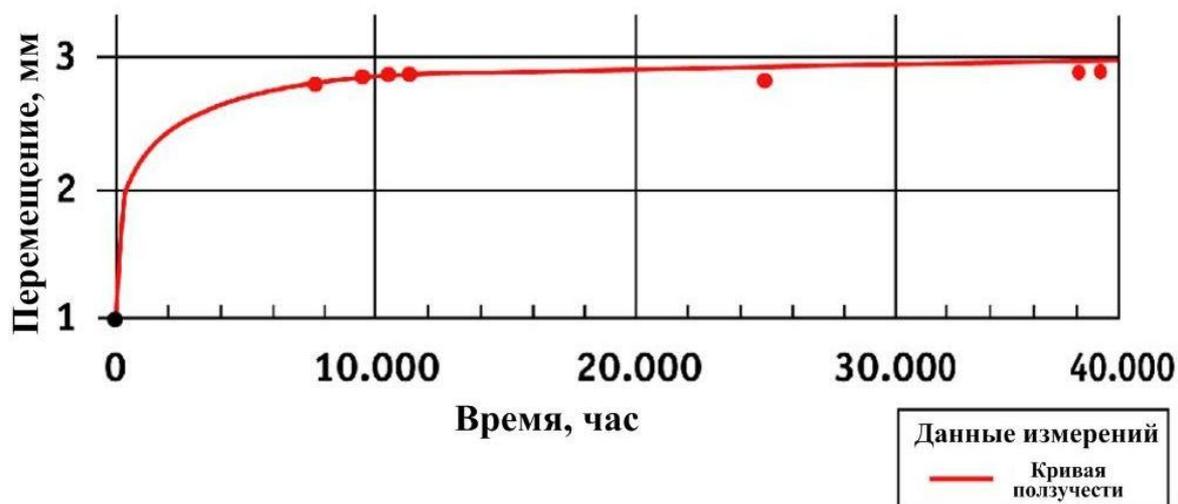
**Рисунок 5 – Испытание «Bentofix» на ползучесть**

Относительное смещение слоев с течением времени приведено в таблице 2.

**Таблица 2 – Смещение БМ с течением времени**

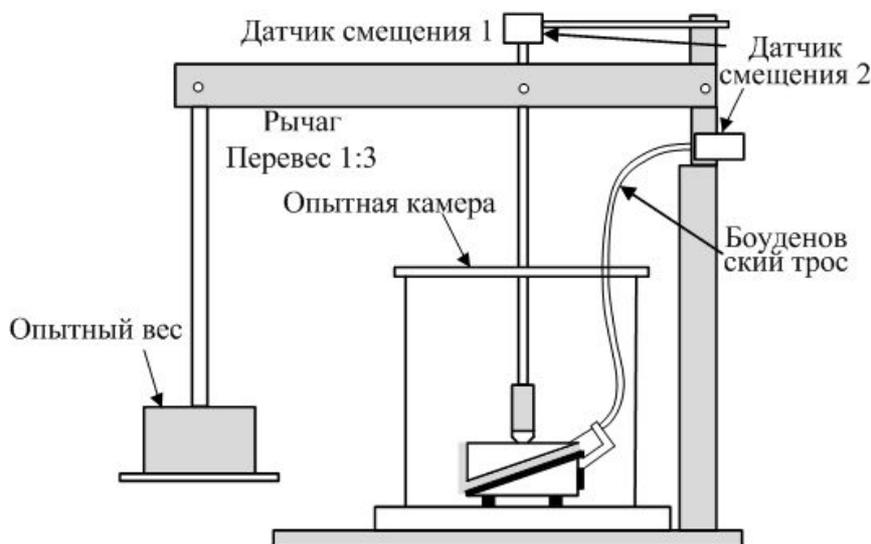
17.10.94	11.05.95	23.05.95	09.08.95	20.09.95	26.10.95	01.07.97	05.10.98	01.12.98
2,5 мм	2,7 мм	2,7 мм	2,8 мм	2,8 мм	2,8 мм	2,8 мм	2,9 мм	2,9 мм

В первые 5000 часов ползучесть составила 2,5 мм, в конечном итоге по истечению более 40000 часов – 2,9 мм (рисунок 6).



**Рисунок 6 – Зависимость ползучести от времени «Bentofix»**

В 1998 году «Федеральным агентством по исследованию и испытанию материалов» были проведены исследования БМ «Bentofix» на сдвиг (рисунок 7).



**Рисунок 7 – Схема испытательного оборудования, используемого для определения прочности на сдвиг**

Эксперименты проводились с 50 кПа нагрузки сверху. Образец испытывался в течение 365 дней [7].

В результате испытаний было установлено, что БМ отвечают всем минимальным требованиям, и прогнозный срок их службы составляет около 200 лет при температуре окружающей среды 15 °С.

Таким образом бентонитовые маты являются искусственно созданным геокомпозитным материалом, сочетающим в себе основные преимущества классических грунтовых (глинистых) противofильтрационных устройств и представляют качественную альтернативу классическим грунтовым противofильтрационным элементам, позволяющую существенно сэкономить на трудозатратах и времени.

Для дальнейшего успешного внедрения в мелиоративную практику необходимо выполнить ряд научных исследований по использованию бентонитовых матов и исследовать особенности их работы в зимних условиях, в условиях просадки, в случае прорыва.

#### **Список использованных источников**

1 Coulson, J. Landfill cap design with geosynthetic clay liners, Kent p. von maubeuge / J. Coulson, H. Falk. – P. 1-21.

2 Тюменев, Ю. Я. Приборы и методы испытаний геотекстильных нетканых материалов [Электронный ресурс] / Ю. Я. Тюменев. – Режим доступа: <http://www.old.rguts.ru>. 2013/.

3 Geosynthetic clay liners [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.bentofix.com>.

4 ASTM D4632, 2003. Standard test method for grab breaking load and elongation of geotextiles / Annual Book of ASTM Standards. – Vol. 04.13. – P. 49-52.

5 Mackey, R. E. Advances in Geosynthetic Clay Liner Technology: Second Symposium Editor(s) / Robert E. Mackey, Kent P. von Maubeuge. – P. 158.

6 Zanziger, H. Clay Geosynthetic Barrier. Proceedings of the International Symposium IS Nuremberg 2002, Germany, 16-17 April 2002 / H. Zanziger,

R. M. Koerner, E. Gartung. Published by A. A. Balkema. – P. 33-37.

7 Von Maubeuge, K. P. Can geosynthetic clay liners be used on slopes to achieve long-term stability / К. P. Von Maubeuge, M. A. Eberle // 3rd International Congress on Environmental Geotechnics, Lisbon, Portugal, Sept. 1998. – P. 375-380.

---

**Ищенко Александр Васильевич** – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» (ФГБОУ ВПО «НГМА»), заведующий кафедрой гидравлики и инженерной гидрологии.

Контактный телефон: 89081750063.

E-mail: kafgidravngma@yandex.ru

**Ishchenko Aleksandr Vasilyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education “Novocherkassk State Meliorative Academy” (FSBEE HPE “NSMA”), Head of the Chair of Hydraulics and Engineering Hydrology.

Contact telephone number: 89081750063.

E-mail: kafgidravngma@yandex.ru

**Баев Олег Андреевич** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская государственная мелиоративная академия» (ФГБОУ ВПО «НГМА»), студент.

Контактный телефон: 89612829679.

E-mail: Oleg-Baev1@yandex.ru

**Bayev Oleg Andreyevich** – Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education “Novocherkassk State Meliorative Academy” (FSBEE HPE “NSMA”), Student.

Contact telephone number: 89612829679.

E-mail: Oleg-Baev1@yandex.ru