

УДК 626.823.916

О. А. Баев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ КОНСТРУКЦИЙ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ КАНАЛОВ И ПРУДОВ-НАКОПИТЕЛЕЙ

Целью исследования является изучение особенностей комбинированных противофильтрационных конструкций из геосинтетических материалов. В статье рассматриваются усовершенствованные и новые комбинированные конструкции противофильтрационных экранов для оросительных каналов, накопителей жидких отходов. С использованием планирования эксперимента и применением приближенной формулы для определения удельного расхода получена расчетная эмпирическая формула для оценки расхода через малые отверстия в экране из полимерной геомембраны, проверена адекватность значений по F -критерию Фишера, рассчитана значимость по t -критерию Стьюдента. Проведены лабораторные исследования одной из предлагаемых комбинированных конструкций. По результатам лабораторных экспериментов была установлена эффективность самозалечивания повреждений (в виде небольших отверстий) в полимерной геомембране, которая показала, что чем больше отверстие в геомембране, тем эффективнее происходит регенерация в виде выходов бентонита наружу (при диаметре повреждений 5 мм эффективность составила 25 %, при диаметре 20 мм – 95 %). При наличии малых отверстий эффективность снижается, но в подэкрановом основании (под полимерной геомембраной) образуется вязкий гель из бентонита, препятствующий дальнейшей фильтрации жидкости, обеспечивая полную герметичность конструкции. По результатам опытов, было установлено, что Са-бентонит увеличивается в размерах (при гидратации) без нагрузки в 12 раз (с 2 мм до гидратации и 24 мм – после). Полученные результаты представлены в виде карты зон уровней с помощью программного пакета «Statistica» и зависимости эффективности самозалечивания от диаметра повреждения.

Ключевые слова: регенерация, бентонитовые маты, планирование эксперимента, фильтрация, геомембрана, конструкции покрытий.

О. А. Bayev

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novochoerkassk, Russian Federation

SPECIFICS OF ANTIFILTRATION SCREEN CONSTRUCTIONS FOR CANALS AND STORAGE POOLS

The aim of research is to study the specifics of combined antifiltration constructions made of geosynthetic materials. The article considers improved and new combined constructions of antifiltration screens for irrigation canals and storages of liquid wastes. Using experimental design and approximative formula for determine specific discharge of water, we obtained an empirical formula for estimating a discharge through small orifices in the screen of polymer geomembrane; the adequacy of values according to Fisher's F -criterion was checked and significance was calculated by Student t -test. Laboratory study of one of the proposed constructions was conducted. Laboratory experiments result in establishing the efficiency of self-healing for damages (small orifices) in polymer geomembrane. The research showed that for bigger orifices in geomembrane the more effective regeneration occurred (when the diam-

eter of damage orifice was 5 mm the efficiency was 25 %, and when diameter was 20 mm – 95 %). For small orifices the efficiency decreases, but in the under-screen base (under polymer geomembrane) the viscous gel of bentonite is formed which prevents further filtration of liquid providing total impermeability of the construction. According to experimental results it was established that Ca-bentonite increases in size without loading up to 12 times (from 2 mm before hydration to 24 mm after it). The obtained results are presented as a map of level zones using software “Statistics” and the relation of self-healing efficiency to damage diameter.

Keywords: regeneration, bentonite mats, experimental design, filtration, geomembrane, construction of coatings.

По данным Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года, для сокращения потерь воды в водопроводящих элементах водохозяйственных систем агропромышленного комплекса требуются реконструкция и модернизация систем водоподачи, восстановление и устройство облицовок оросительных каналов [1].

Начиная с середины XX века по настоящее время достаточно остро стоят проблемы негативного влияния различных прудов-накопителей, а также каналов оросительных систем, выполненных в земляном русле, на окружающую среду. В настоящее время разнообразие традиционных и инновационных конструкций противofiltrационных экранов [2-5] не решает проблему значительных потерь воды от фильтрации, поэтому разработка и усовершенствование конструкций экранов современными геосинтетическими материалами остается важным направлением.

Значительный опыт использования современных геосинтетических материалов для противofiltrационных экранов накоплен за рубежом, в таких странах как Германия, США, Польша, Япония, Франция, Англия и другие.

На рисунке 1 представлены варианты комбинированных конструкций противofiltrационных покрытий с использованием бентонитовых матов, геомембран, геотекстилей и других геосинтетических материалов для накопителей жидких отходов и оросительных каналов. Необходимо отметить, что некоторые варианты разработанных конструкций обладают свойством регенерации (самозалечивания) образованных повреждений, которые неизбежны в процессе строительства различными механизмами,

а также в процессе эксплуатации сооружения [6].

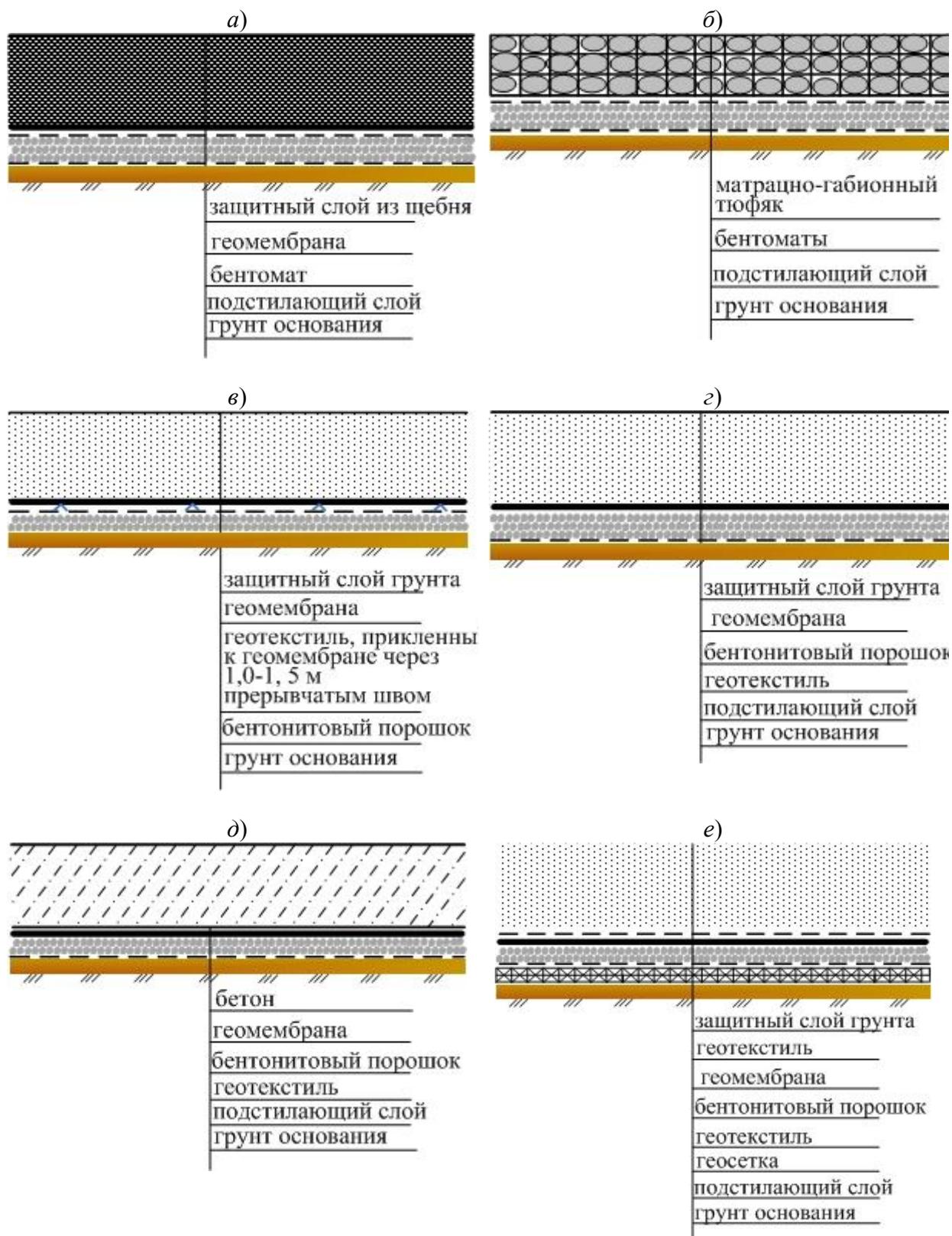


Рисунок 1 – Комбинированные конструкции противофильтрационных покрытий

Конструкцию экрана с бентонитовым матом (например «Росбент», выпускаемый по ТУ 5774-001-68186246-2011) и защитным слоем из щебня (рисунок 1, *а*) целесообразно применять на накопителях жидких отходов, на просадочных основаниях с максимальной величиной просадки до 1,0 м, при этом толщину защитного покрытия необходимо принимать не менее 0,1-0,2 м. Марка и физико-механические свойства применяемых бентонитовых матов будут зависеть от типа и состава фильтрата, геологических условий. В качестве примера применения данной конструкции (с бентоматами фирмы «Naue») можно привести пруд-накопитель жидких отходов в г. Тихорецке Краснодарского края, где использовались Са-бентоматы.

При создании противofильтрационных экранов накопителей жидких отходов с натриевыми бентонитовыми матами необходимо учитывать рН фильтрата, так как бентонит в сильнокислой и сильнощелочной среде не будет полностью набухать и в целом конструкция не будет работать.

На рисунке 1, *б* представлена комбинированная конструкция противofильтрационного экрана с защитным слоем из габионов матрацнотюфячного типа толщиной 0,2-0,3 м и длиной 5 м. Данную конструкцию рекомендуется применять для оросительных каналов с заложением откосов не более 1:3.

Конструкция покрытия (рисунок 1, *в*) с геокомпозитом включает в себя геомембрану, к которой через 1,0-1,5 м прерывчатым швом приклеивается полотнище тканого геотекстиля с поверхностной плотностью не более 400 г/м². Защитное покрытие рекомендуется выполнять толщиной не менее 0,3-0,5 м. Данная конструкция может применяться на оросительных каналах, а также накопителях жидких отходов.

Для вариантов конструкций, представленных на рисунке 1, *г*, *д*, *е*, геомембрана укладывается на бентонитовый порошок (слоем 2-4 мм), который снизу защищен полотнищем нетканого геотекстиля для предотвращения вымыва бентонита в нижележащие горизонты. Конструкции, представленные на рисунке 1, *г*, *д*, рекомендуется применять для тех накопите-

лей отходов, где чаще возможны повреждения противифльтрационного элемента и могут происходить утечки загрязненного фильтрата в нижележащие слои, а вариант конструкции, изображенный на рисунке 1, е, – на оросительных каналах.

Для определения расхода воды q_0 через повреждения (малые отверстия) в геомембране необходимо проведение исследований с планированием эксперимента.

В случае если $k_{гр}/k_{защ} \leq 10$ (где $k_{гр}$ – коэффициент фильтрации грунта защитного слоя, $k_{защ}$ – коэффициент фильтрации защитного покрытия), принимаем приближенную формулу, полученную Ю. М. Косиченко [7]:

$$q_0 = \frac{\pi^2 r_0 k_{защ} (h_0 + \delta_0 - h_1)}{\ln(8\delta_0 / \pi r_0)}, \quad (1)$$

где r_0 – радиус прокола (отверстия) в геомембране, м;

$k_{защ}$ – коэффициент фильтрации грунта защитного слоя, м/с;

h_0 – глубина воды в канале (накопителе), м;

δ_0 – толщина защитного слоя, м;

h_1 – пьезометрический напор в отверстии, м:

$$h_1 = \frac{\pi^2 \delta (h_0 + \delta_0) - 4H_k \ln(8\delta_0 / \pi r_0)}{\pi^2 \delta + 4 \ln(8\delta_0 / \pi r_0)},$$

где δ – отношение коэффициентов:

$$\delta = \frac{k_{защ}}{k_{гр}}.$$

где $k_{гр}$ – коэффициент фильтрации грунта защитного слоя, м/с;

H_k – капиллярный вакуум (принимаем $H_k = 1$ для суглинка), м.

Исходя из вышеизложенного, на расход q_0 через отверстие в геомембране при $k_{гр}/k_{защ} \leq 10$ будут существенно влиять четыре фактора. Общую эмпирическую зависимость для его определения можно записать в виде:

$$q_0 = f_1(\delta_0, k_{\text{защ}}, \bar{r}_0, h_0), \text{ м}^3/\text{с}. \quad (2)$$

На основе опыта натуральных наблюдений [8] задаемся уровнями факторов (таблица 1).

Таблица 1 – Факторы и уровни изменения

Фактор	Кодовое обозначение факторов	Уровни факторов		
		Верхний (+ 1)	Основной (0)	Нижний (- 1)
$\delta_0, \text{ м}$	x_1	1,2	0,75	0,3
$k_{\text{защ}}, \text{ м/с}$	x_2	10^{-7}	$5 \cdot 10^{-8}$	10^{-9}
$\bar{r}_0, \text{ м}$	x_3	0,0075	0,0040	0,0005
$h_0, \text{ м}$	x_4	10,0	5,5	1,0

Результаты эксперимента записываем в виде матрицы планирования (таблица 2), при этом план факторного эксперимента принимаем сокращенным (в виде полуреплики 2^{4-1}) [9], согласно которого для четырех факторов достаточно провести 8 опытов.

Значения расхода через отверстие в экране из геомембраны для каждого опыта рассчитаны по формуле (1). Для дальнейшей обработки прологарифмируем значения q_0 и представим их в таблице 2.

Определим коэффициенты регрессии линейного уравнения вида:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3, \quad (3)$$

где $Y = \lg q_0$, x_1, \dots, x_4 – кодированное значение факторов.

По результатам опытов, проведенных в соответствии с матрицей планирования, можно подсчитать коэффициенты регрессии линейного уравнения. Общие формулы для вычисления коэффициентов регрессии имеют вид [8]:

$$b_0 = \sum_{n=1}^N Y_n / N; \quad b_i = \sum_{n=1}^N x_{in} Y_n / N; \quad b_{ij} = \sum_{n=1}^N x_{ijn} Y_n / N,$$

где x_{in} – значение x_i в n -м опыте;

Y_n – значение искомого параметра в том же опыте.

Значения всех коэффициентов уравнения регрессии (3) приведены выше в таблице 1.

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты экспериментов

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	$x_1x_2 =$ $=x_3x_4$	$x_2x_3 =$ $=x_2x_4$	$x_2x_3 =$ $=x_1x_4$	Расчетные данные	
									q_0	$Y(\lg q_0)$
1	+	+	+	-	-	+	-	-	$0,18 \cdot 10^{-7}$	- 7,74
2	+	-	-	-	-	+	+	+	$0,12 \cdot 10^{-9}$	- 9,92
3	+	+	-	-	+	-	-	+	$0,54 \cdot 10^{-9}$	- 9,27
4	+	-	+	-	+	-	+	-	$0,74 \cdot 10^{-7}$	- 7,13
5	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,11 \cdot 10^{-5}$	- 5,98
6	+	-	-	+	+	+	-	-	$0,12 \cdot 10^{-7}$	- 7,94
7	+	+	-	+	-	-	+	-	$0,03 \cdot 10^{-7}$	- 8,57
8	+	-	+	+	-	-	-	+	$0,03 \cdot 10^{-5}$	- 6,47
b_i	- 7,88	- 0,013	0,076	0,638	0,298	- 0,018	- 0,02	- 0,03	$\sum Y_i = -63,02$	
Примечание – Значения «+» в данной таблице соответствуют верхнему пределу, а «-» – нижнему пределу каждого фактора, которые представлены в таблице 1.										

$$\bar{Y} = \frac{-63,02}{8} = -7,88 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Зависимость (2) можно с достаточной точностью аппроксимировать уравнением степенного вида:

$$q_0 = c \cdot \delta_0^{a_1} \cdot k_{\text{защ}}^{a_2} \cdot \bar{r}_0^{a_3} \cdot h_0^{a_4}. \quad (4)$$

После логарифмирования уравнение (4) линеаризуется:

$$\lg q_0 = \lg c + a_1 \lg \delta_0 + a_2 \lg k_{\text{защ}} + a_3 \lg \bar{r}_0 + a_4 \lg h_0,$$

где $Y = \lg q_0$.

В результате математической обработки экспериментальных исходных данных получено уравнение регрессии для Y в виде:

$$Y = -7,88 - 0,013x_1 + 0,076x_2 + 0,638x_3 + 0,298x_4 - 0,018x_1x_2 - 0,02x_1x_3 - 0,03x_2x_3. \quad (5)$$

Подставляя вместо переменных в уравнение (5) их логарифмы, записываем его следующим образом:

$$\lg q_0 = -7,88 - 0,013 \lg \delta_0 + 0,076 \lg k_{\text{защ}} + 0,638 \lg \bar{r}_0 + 0,298 \lg h_0 - 0,018 \lg \delta_0 \cdot \lg k_{\text{защ}} - 0,02 \lg \delta_0 \cdot \lg \bar{r}_0 - 0,03 \lg k_{\text{защ}} \cdot \lg \bar{r}_0.$$

В результате потенцирования окончательно получим зависимость для определения расхода степенного вида:

$$q_0 = 0,13 \cdot 10^{-7} \cdot \delta_0^{-0,013} \cdot k_{\text{защ}}^{0,076} \cdot \bar{r}_0^{0,638} \cdot h_0^{0,298} \cdot (\delta_0 \cdot k_{\text{защ}})^{-0,018} \cdot (\delta_0 \cdot \bar{r}_0)^{-0,02} \cdot (k_{\text{защ}} \cdot \bar{r}_0)^{-0,03}.$$

После преобразований получим следующий вид эмпирической зависимости:

$$q_0 = 0,13 \cdot 10^{-7} \cdot \delta_0^{-0,05} \cdot k_{\text{защ}}^{0,03} \cdot r_0^{0,59} \cdot h_0^{0,30}. \quad (6)$$

Эмпирическая формула для определения расхода получит окончательный вид:

$$q_0 = \frac{0,13 \cdot k_{\text{защ}}^{0,03} \cdot r_0^{0,59} \cdot h_0^{0,30}}{10^7 \cdot \delta_0^{0,05}}.$$

Найдем среднюю относительную ошибку аппроксимации по формуле:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{Y_i - \bar{Y}}{Y_i} \right| \cdot 100\% = \frac{1}{8} \cdot 0,419 \cdot 100\% = 1,04\%.$$

Полученная относительная ошибка аппроксимации составляет 1,04 % и не превышает 10-15 %, что свидетельствует о незначительном отклонении от расчетных данных.

Проверим теперь адекватность полученного уравнения по F -критерию Фишера. Для этого выполним сравнение полученного значения F и табличного F значения. Если оно больше критического значения ($F > F_{\text{табл}}$), то полученное уравнение регрессии адекватно результатам эксперимента. Уровень значимости – вероятность не признать гипотезу, что она верна – принимаем по статистическим таблицам равным 0,05. Расчет по нахождению критерия Фишера представлен в таблице 3.

Таблица 3 – К расчету по нахождению критерия Фишера

y	\tilde{y}	$y - \tilde{y}$	$y - \bar{y}$	$(y - \tilde{y})^2$	$(y - \bar{y})^2$
- 7,74	- 8,05	- 0,31	- 0,14	0,096	0,0196
- 9,92	- 8,07	- 0,85	2,04	0,72	4,16
- 9,27	- 7,80	- 0,47	1,39	0,22	1,93
- 7,13	- 7,72	- 0,59	- 0,75	0,35	0,56
- 5,98	- 7,05	- 1,07	- 1,9	0,14	3,61
- 7,94	- 7,06	- 0,88	0,06	0,77	0,0036
- 8,57	- 7,39	- 1,18	0,69	0,39	0,48
- 6,47	- 7,31	- 0,84	- 1,41	0,71	1,988
				Σ 3,39	Σ 12,75

Так как $F > F_{\text{табл}}$ ($21,63 > 3,44$), то полученное эмпирическое уравнение адекватно результатам эксперимента.

В таблице 4 приведены расчетные и табличные значения (для уровня значимости $\alpha = 0,05$ t -критерий Стьюдента равен 2,31).

Таблица 4 – t -критерии Стьюдента

Кодированное значение факторов	S_y^2	b_i	t_p	t_m
x_3x_4	0,98	- 0,018	0,179	2,31
x_2x_3	0,09	- 0,03	$1,79 \cdot 10^{-8}$	2,31
x_1x_3	0,13	- 0,02	0,0185	2,31
x_2x_4	0,13	- 0,02	$3,39 \cdot 10^{-6}$	2,31
x_1x_4	0,09	- 0,03	0,369	2,31
x_1x_2	0,98	- 0,018	$0,30 \cdot 10^{-6}$	2,31

По результатам проверки значимости можно сделать вывод о том, что $t_{\text{набл}} > t_{\text{табл}}$, поэтому можно говорить о значимости всех коэффициентов.

Сравнение результатов расчета параметра q_0 по теоретическим и эмпирическим формулам при принятых значениях факторов для основного уровня (по таблице 1) приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета по теоретическим и эмпирическим формулам

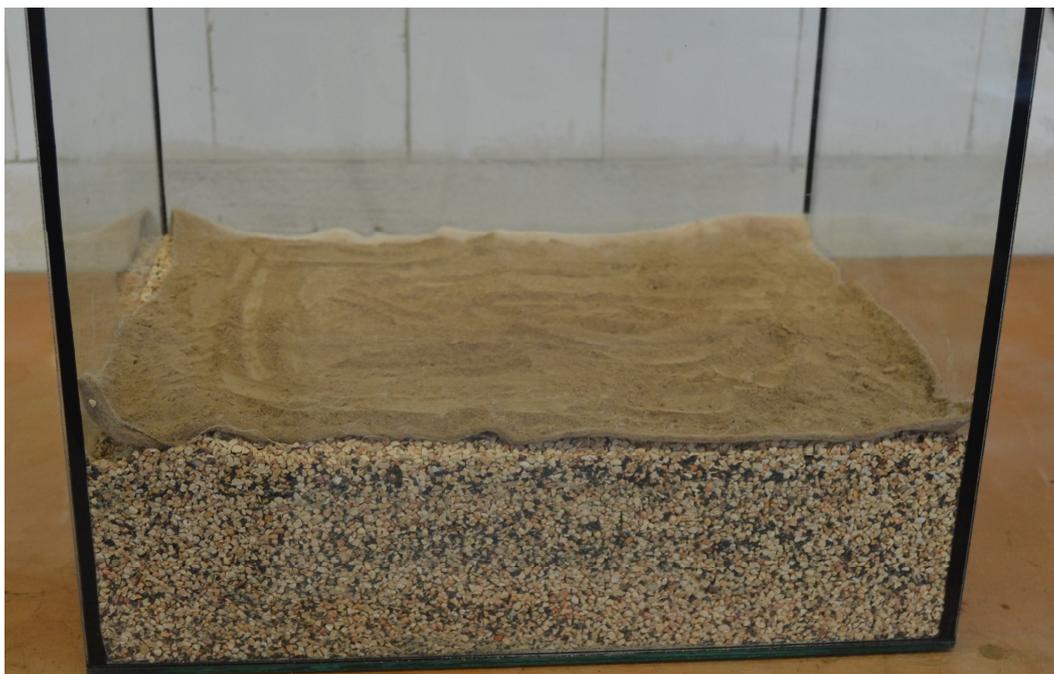
Параметр	По формуле (1)	По формуле (6)	Расхождение, %
$q_0, \text{см}^3/\text{с}$	$0,0798 \cdot 10^{-6}$	$0,0893 \cdot 10^{-6}$	12,0

Представленные результаты расчета по теоретическим и эмпирическим формулам в таблице 5 свидетельствуют о несущественном их расхождении и адекватности модели в целом.

В рамках данных изысканий для изучения особенностей работы предложенной конструкции (см. рисунок 1, з) были проведены лабораторные исследования, которые заключались в определении эффективности самозалечивания повреждений полимерной геомембраны (Θ_{ϕ} , %) бентонитовым порошком.

Противофильтрационный экран состоял из следующих элементов: подстилающий слой из крупнозернистого песка толщиной 10 см, полимерная геомембрана на основе полиэтилена высокого давления ПЭНД (LLDPE) толщиной 1,5 мм, Са-бентонит толщиной 2 мм, тканый геотекстиль «Стабитекс» (выпускаемый по ТУ 2290-001-27-225810-05) плотностью 380 г/м^2 .

Основными факторами, влияющими на степень регенерации повреждений в геомембране, являются толщина бентонита, диаметр повреждения, толщина защитного слоя и время гидратации. Для наглядности проведения эксперимента принимались лишь следующие факторы: диаметры повреждений в полимерной геомембране ($d_1 = 1,0 \text{ м}$, $d_2 = 2,0 \text{ мм}$, $d_3 = 5,0 \text{ мм}$, $d_4 = 10,0 \text{ мм}$, $d_5 = 20,0 \text{ мм}$, $d_6 = 50,0 \text{ мм}$), время гидратации до 48 часов, слой Са-бентонитового порошка 2 мм (рисунок 2).

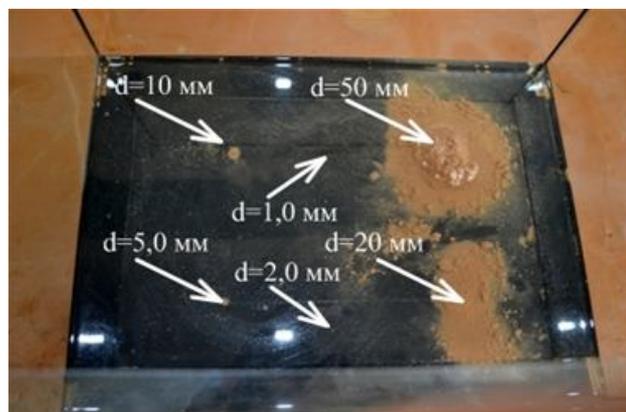


**Рисунок 2 – Бентонит, нанесенный на геотекстиль
(автор фото О. А. Баев)**

После наполнения стеклянной емкости водой (объемом 14 л) сразу же происходит гидратация бентонита и регенерация повреждений в геомембране в виде выходов бентонита наружу (рисунок 3).



a)



б)

a – до регенерации; *б* – после регенерации

**Рисунок 3 – Регенерация повреждений бентонитом
в полимерной геомембране (автор фото О. А. Баев)**

Процесс гидратации установился спустя 48 часов. При этом, как показано на рисунке 4, Са-бентонит под геомембраной увеличился в 12 раз (с 2 мм до гидратации до 24 мм после).



**Рисунок 4 – Са-бентонит спустя 48 часов гидратации
(автор фото О. А. Баев)**

В результате лабораторных исследований была установлена примерная эффективность самозалечивания повреждений в геомембране (Θ_{ϕ} , %) в зависимости от диаметра повреждения. Так, например, при $d_1 = 5,0$ $\Theta_{\phi} = 25,0$ %, при $d_3 = 20,0$ $\Theta_{\phi} = 95,0$ %, что позволяет сделать вывод о том, что чем больше диаметр повреждения в полимерной геомембране, тем эффективнее происходит регенерация (см. рисунок 3, б). Зависимость эффективности самозалечивания от диаметра повреждения представлена на рисунке 5.

Согласно данным А. В. Прямицкого [10], при свободном набухании в результате только внутрикristаллического процесса для Са-бентонита происходит увеличение объема примерно в 2-4 раза. В На-бентоните при внутрикristаллическом и осмотическом набухании объем увеличивается примерно в 8-15 раз. Степень набухания под нагрузкой варьируется в зависимости от величины прикладываемых сил ($20-100 \text{ кН/м}^2$) и составляет около 1 % для Са-бентонита и до 20 % для На-бентонита. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что Са- и На-бентонит будут увеличиваться гораздо больше, чем указано в работе А. В. Прямицкого [10].

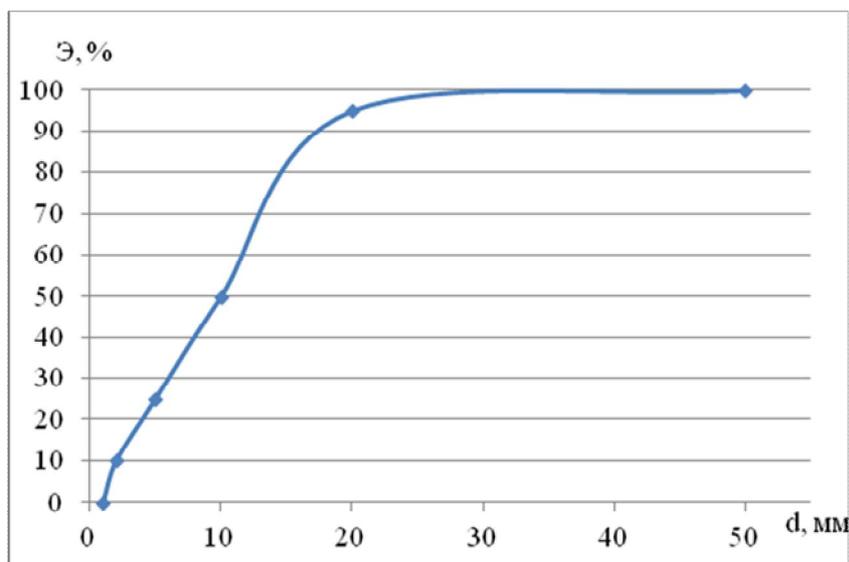


Рисунок 5 – Эффективность самозалечивания повреждений

Полученные результаты в соответствии с факторами лабораторного эксперимента были представлены в виде 3М-карты зон уровней (рисунок 6) с помощью программного пакета «Statistica». Карта уровней позволила более наглядно и детально представить результаты эксперимента в виде взаимосвязи эффективности самозалечивания (\mathcal{E}_ϕ , %), диаметра повреждений (d , мм) и времени гидратации бентонита (t , мин).

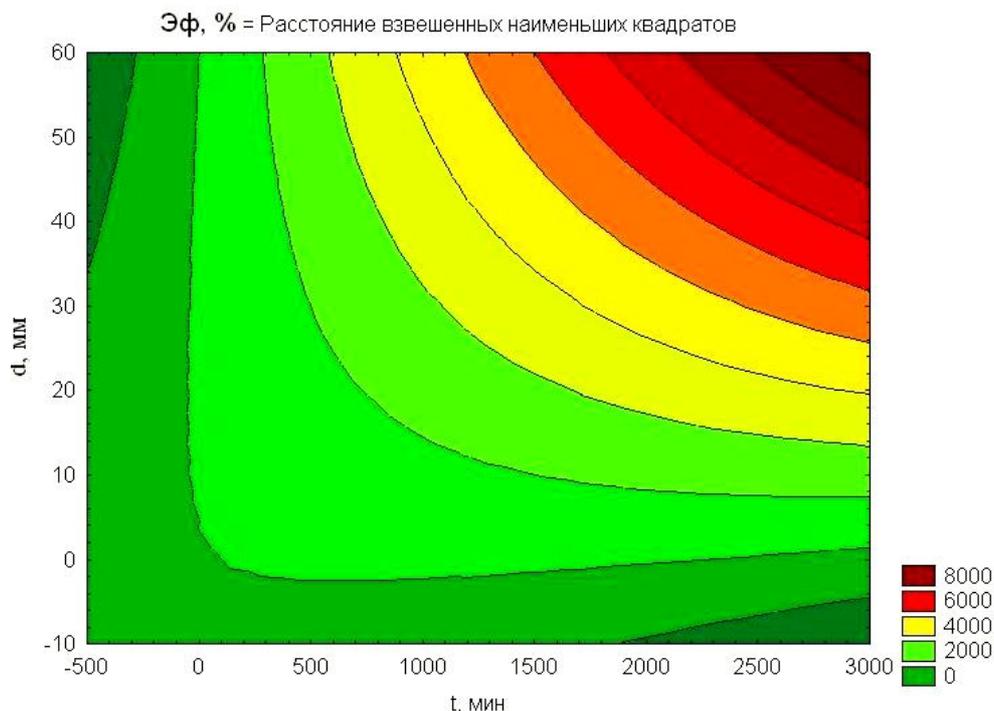


Рисунок 6 – Карта уровней по результатам эксперимента

Несмотря на большое количество геосинтетических материалов, используемых в комбинированных конструкциях, и их относительно высокой стоимости, общая стоимость комбинированной конструкции с ее устройством не превышает стоимости традиционного глиняного экрана. Так, в среднем, согласно данным Центра дорожных технологий [11], стоимость материалов составляет: геотекстиль тканый – 130 руб./м², геомембрана полимерная – 250 руб./м², бентонитовые маты – 390 руб./м², геосетка – 160 руб./м², бентонитовый порошок (30 кг) – 1700 руб., габионы (в зависимости от размера) – 1750 руб./шт., суглинок – 280 руб./м³. Исходя из этого, стоимость комбинированной конструкции из геосинтетических материалов (см. рисунок 1, *a-e*) без ее устройства будет примерно составлять 680-1140 руб./м². Стоимость доставки и укладки будет зависеть от вида используемого геосинтетического материала и будет составлять 10-30 % от стоимости материала. Стоимость экрана из глины составляет порядка 280 руб./м², а с учетом затрат на устройство такого экрана (доставка, укладка, уплотнение) – на несколько порядков выше, чем экрана из геосинтетиков.

По показателям долговечности, практичности и экологической безопасности комбинированные экраны с геосинтетиками превосходят пленочные, асфальто-бетонные и открытые одно-двухслойные экраны из геосинтетических материалов, срок окупаемости экранов с геосинтетиками составляет менее 1 года (за счет отсутствия платы за предельно допустимые сбросы загрязняющих веществ из прудов-накопителей). Например, экран из бентонитовых матов (в гидратированном состоянии толщиной 1 см) эквивалентен слою глины толщиной не менее 90 см [12].

Выводы

1 По результатам лабораторных экспериментов была установлена эффективность самозалечивания повреждений (в виде небольших отверстий) в полимерной геомембране, которая показала, что чем больше отверстие в геомембране ($d \geq 10$ мм), тем эффективнее происходит регенерация в виде

выходов бентонита наружу. При наличии малых отверстий ($d = 1,0 - 5,0$ мм) эффективность снижается, но в подэкранном основании (под геомембраной) образуется вязкий гель из бентонита, препятствующий дальнейшей фильтрации жидкости, обеспечивая полную герметичность конструкции.

2 Установленная (по результатам опытов) величина гидратации Са-бентонита без нагрузки составила 12 раз. Несомненно, данное значение будет варьироваться в зависимости от многих факторов, таких как: толщина бентонита в сухом виде, вид бентонита и его характеристики, содержание монтмориллонита, величина нагрузки, вид фильтрата на накопителях отходов.

Список использованных источников

1 Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года: утв. Распоряжением Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р // Гарант Эксперт 2014 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2014.

2 Чернов, М. А. Конструкции защитных облицовок каналов и водоемов с применением геосинтетических материалов [Электронный ресурс] / М. А. Чернов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – № 3(03). – 13 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=37&id=42>.

3 Косиченко, Ю. М. Новые конструкции полимерных противофильтрационных экранов / Ю. М. Косиченко, В. А. Белов // Гидротехника и мелиорация. – 1987. – № 11. – С. 57-61.

4 Баев, О. А. Противофильтрационные покрытия с применением бентонитовых матов для накопителей жидких отходов / О. А. Баев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. – № 3 (11). – 10 с. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/arhive?n=188&id=199>.

5 Косиченко, Ю. М. Технические указания по применению противофильтрационных экранов из рулонных полимерных материалов на прудах-накопителях сточных вод животноводческих комплексов / Ю. М. Косиченко, Г. А. Золотарев, Н. А. Евстратов; ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1984. – 37 с.

6 Косиченко, Ю. М. Надежность каналов и водоемов с облицовкой из пленочных материалов и геомембран / Ю. М. Косиченко, М. А. Чернов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 3. – С. 37-40.

7 Косиченко, Ю. М. Инструкция по расчету водопроницаемости и эффективности противофильтрационных облицовок каналов / Ю. М. Косиченко, В. А. Бородин, А. В. Ищенко; Союзгипроводхоз, ЮжНИИГиМ. – М., 1984. – 95 с.

8 Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин, В. А. Бородин, В. Г. Ганчиков, Ю. М. Косиченко. – М.: Агропромиздат, 1988. – 160 с.

9 Веников, В. А. Теория подобия и моделирования / В. А. Веников, Г. В. Веников. – М.: Высшая школа, 1984. – 438 с.

10 Прямицкий, А. В. Основные свойства бентонитовых глин / А. В. Прямицкий

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(15), 2014 г., [104-119]

кий // Гидротехника XXI века. – 2010. – № 3. – С. 66-71.

11 Центр дорожных технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.road-market.ru>, 2014.

12 Завьялов, С. В. Геосинтетика на основе бентонита / С. В. Завьялов // Гидротехника. – 2014. – № 2(35). – С. 52-55.

Баев Олег Андреевич – аспирант, младший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация.

Контактный телефон: 8 (8635) 26-65-00.

E-mail: Oleg-Baev1@yandex.ru

Bayev Oleg Andreyevich – Postgraduate Student, Junior Researcher Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation.

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

E-mail: Oleg-Baev1@yandex.ru